

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Josip Vidak

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Dr. sc. Suzana Jakovljević, dipl. ing.

Student:

Josip Vidak

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Iskreno se zahvaljujem svima koji su mi pomogli u pripremi ovog rada. Mentorici rada dr.sc. Suzani Jakovljević, dr.sc. Darku Landeku na korisnim smjernicama, dobrim savjetima i trudu uloženom u višestruko čitanje i provjeru sadržaja rada, asistentu Ivanu Primorcu mag.ing., kao i ostalom osoblju Katedre za materijale i tribologiju jer su mi omogućili da ovaj rad poprimi svoj konačni oblik. Zahvaljujem se osoblju Stomatološkog fakulteta u Zagrebu jer su mi omogućili izvođenje eksperimentalnog dijela rada, a posebno se zahvaljujem, prof.dr.sc. Parisu Simeonu, prije svega svom prijatelju, na omogućavanju izvođenja ovog rada, nabavi ispitnog materijala, na ugodnom ozračju i spontanosti u vremenu koje smo zajedno proveli analizirajući problematiku kojom se rad bavi. Također se zahvaljujem tvrtkama Komet Dental, Pandent Ivoclar Vivadent na njihovoj susretljivosti i potrebnim tehničkim informacijama o ispitnim materijalima koji su korišteni prilikom izrade ovoga rada.

Osjećam potrebu zahvaliti se djevojci Nikolini, svojim prijateljima, i svima koji su prošli kroz moj studentski vijek neprestano me motivirajući i potičući da uvijek dajem svoj maksimum.

U konačnici se zahvaljujem osobama koje su uvijek bile uz mene i bez kojih ništa od ovog nebi bilo moguće, svojim roditeljima, Ivanu i Mariji kojima posvećujem ovaj rad. Hvala Vam.

Josip Vidak



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Josip Vidak**

Mat. br.: 0035181584

Naslov rada na
hrvatskom jeziku: **Trošenje dentalnih svrdala**

Naslov rada na
engleskom jeziku: **Wear of dental burs**

Opis zadatka:

Svrdla su rezni alati koji se u stomatologiji primjenjuje za preparaciju zuba. Sastoje se od držača, vratnog dijela te radnog dijela. Radni dio svrdla se sastoji od reznih tijela ili abrazivnih čestica te se izrađuju u različitim oblicima ovisno o namjeni.

U radu je potrebno:

- 1) definirati materijale od kojih se izrađuju dentalna svrdla,
- 2) analizirati i opisati mehanizme trošenja elemenata tribosustava,
- 3) ispitati otpornost na trošenje dentalnih svrdala na različitim podlogama,
- 4) analizirati rezultate i dati zaključak.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

29. rujna 2016.

Zadatak zadao:

Izv.prof.dr.sc. Suzana Jakovljević

Rok predaje rada:

1. prosinca 2016.

Predviđeni datum obrane:

7., 8. i 9. prosinca 2016.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Franjo Cajner

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
1.1. Tribologija.....	1
1.2. Trošenje.....	2
1.2.1 Abrazija	2
1.2.2 Adhezija	3
1.2.3 Umor površine.....	4
1.2.4 Tribokorozija	4
2. DENTALNA TEHNOLOGIJA.....	5
2.1. Povijest	5
2.2. Dentalni uređaji	5
3. BRUŠENJE ZUBI I DENTALNIH MATERIJALA	7
3.1. Sredstva za brušenje	7
3.2. Brusni alati	8
4. DENTALNA SVRDLA	9
4.1. Klasifikacija dentalnih svrdala	9
4.2. Vrste dentalnih svrdala.....	11
4.3. Podjela prema materijalu radnog dijela svrdla	13
4.3.1. Volfram karbina svrdla.....	13
4.3.2 Dijamantna svrdla	18
4.4. Svrdla za preparaciju korijenskog kanala.....	23
5. EKSPERIMENTALNI DIO.....	24
5.1 Materijali	24
5.1.1 Svrdlo	24
5.1.2 Podloga.....	26
5.2 Opis ispitivanja.....	29

5.2.1	Brušenje.....	29
5.2.2	Skeniranje uzoraka SEM-om	31
5.3.	Rezultati	34
5.4.	Rasprava	41
6.	ZAKLJUČCI	43
LITERATURA.....		44
PRILOZI.....		46

POPIS SLIKA

Slika 1. Transport kamenih blokova u Egiptu [3]	1
Slika 2. Abrazijsko trošenje [4]	2
Slika 3. Adhezijsko trošenje [4]	3
Slika 4. Umor površine [4]	4
Slika 5. Tribokorozija [4]	5
Slika 6. Morrisonov stomatološki stolac [9]	6
Slika 7. Obrada odvajanjem čestica [10]	7
Slika 8. Primjer kodiranja dentalnih svrdala [7]	10
Slika 9. Svrđlo s osnovnim dijelovima [13]	12
Slika 10. Ozubljenja volfram karbidnog svrdla [7]	16
Slika 11. Bačvasto volfram karbidno svrdlo [7]	16
Slika 12. Odlamanje volfram karbidnog svrdla [7]	17
Slika 13. Lom na rubu volfram karbidnog svrdla [7]	17
Slika 14. Dijamantna svrdla [16]	19
Slika 15. Dijamantno svrdlo [12]	19
Slika 16. Potrošeno i nepotrošeno dijamantno svrdlo	21
Slika 17. Dijamantno svrdlo nakon cca. 4h rada	21
Slika 18. Jednostavna shema CVD postupka [7]	23
Slika 19. Ispitna neprevučena svrdla [prilog 1]	25
Slika 20. Svrđlo prevučeno dijamantnom prašinom [prilog 1]	25
Slika 21. IPS Empress CAD [prilog II]	26
Slika 22. Cirkonij oksid ZrO_2 [prilog III]	27
Slika 23. Legura CoCrMo [prilog III]	28
Slika 24. Polimetilmetakrilat PMMA [prilog III]	29
Slika 26. Dentalni kolječnik – zračni turbinski nastavak na koje je montirano svrdlo [24]	30
Slika 25. Ispitivanje trošenja svrdala	30
Slika 27. Proxxon stezna naprava s pripadajućim elementima	30
Slika 28. Dijagram sila	31
Slika 29. Shematski prikaz elemenata SEM-a [25]	32
Slika 30. SEM slika trošenja svrdla	33
Slika 31. EDS analiza dijamantne prevlake svrdla	33
Slika 32. EDS analiza matrice svrdla	34
Slika 33. Digitalni ultrazvučni uređaj Pro'sKit SS-802	34
Slika 34. Laboratorijska vaga	35
Slika 35. Dijagram ukupe mase svrdala u intervalima trošenja	37
Slika 36. Dijagram gubitka mase svrdala od početnog stanja	37
Slika 37. Dijagram krivulja gubitka ukupne mase svrdla	38
Slika 38. Usporedba gubitka mase radnog dijela svrdla nakon 12 minuta na 4 podloge	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Internacionalne norme za dentalne rotirajuće instrumente [7].....	11
Tablica 2. Pregled vrste i namjene brusnih sredstava za preoblikovanje zubi [11]	13
Tablica 3. Shematski prikaz volfram karbidnih svrdala [12]	15
Tablica 4. Svojstva dijamanta [7].....	18
Tablica 5. Kemijski sastav nehrđajućeg čelika X10CrNi18-8 [prilog I].....	24
Tablica 6. Tvrdća nehrđajućeg čelika X10CrNi18-8 [prilog I].....	24
Tablica 7. Kemijski sastav IPS Empress CAD staklo-keramike [prilog II]	26
Tablica 8. Fizikalna svojstva IPS Empress CAD keramike [prilog II]	26
Tablica 9. Fizikalna svojstva cirkonij oksida ZrO ₂ [prilog III]	27
Tablica 10. Kemijski sastav legure CoCrMo [prilog III]	28
Tablica 11. Fizikalna svojstva legure CoCrMo [prilog III]	28
Tablica 12. Kemijski sastav dijamantne prevlake svrdla	33
Tablica 13. Kemijski sastav matrice svrdla.....	34
Tablica 14. Ukupna masa ispitivanih svrdala.....	36
Tablica 15. Gubitak mase svrdala u odnosu na početno stanje	36
Tablica 16. SEM slike ispitivanih svrdala.....	40

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

DBWS-014-3 Material data sheet, Courtesy of Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH
 & Co. KG

IPS Empress CAD® Technical data sheets, Vivadent-Ivoclar, Liechtenstein

Technical data sheets Wieland dental, SRNj

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
HCP	-	Gusto slagana heksagonska rešetka
FCC	-	Plošno centrirana kubna rešetka
γ	rad	Prednji kut svrdla
α	rad	Stražnji kut
β	rad	Kut klina
HV	-	Tvrdoća po Vickersu
m	g	masa
F_r	N	Rezultantna sila
SEM	-	Skenirajući elektronski mikroskop
CAD	-	Konstruiranje potpomognuto računalom
CAM	-	Proizvodnja potpomognuta računalom
CVD	-	Postupak kemijskog prevlačenja u parnoj fazi
LaB6	-	Lantan heksaborid
WC	-	Volfram karbid
α -WC	-	Alfa volfram karbid
β -WC	-	Beta volfram karbid
C	-	Ugljik
Ni	-	Nikal
Ag	-	Srebro
Au	-	Zlato
Pd	-	Paladij
Cu	-	Bakar
Zn	-	Cink
Sn	-	Kositar
In	-	Indij

SAŽETAK

Svrkla su rezni alati koji se u stomatologiji primjenjuju za preparaciju zuba i dentalnih materijala. Brusna se tijela svrdala troše različito i nejednako u ovisnosti o materijalu koji režu (keramici, metalu, kompozitnom materijalu).

Cilj ovog rada je bila usporedba trošenja radnog dijela svrdala prevučenih dijamantnom prašinom na 4 najčešće podloge korištene u stomatološkoj protetici.

Praktični dio istraživanja (brušenje) je izveden na stomatološkom stolcu na koji je instaliran dentalni kolječnik - zračna turbina s vodenim hlađenjem i brojem okretaja od 350.000 o/min. Rezultantna sila kojom je kolječnik opterećen bila je konstantna i iznosila je 3 N. Ispitivanje se provodilo na način da su svrdla istog proizvođača (Komet Dental, SRNJ) podijeljena u 4 skupine svrdala jednake grubosti (ISO zelena oznaka). Skupine su određene prema vrsti podloge na kojoj se ispitivalo trošenje. Podloge korištene u istraživanju bile su: staklo-keramika $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$, cirkonij oksid - ZrO_2 , legura CoCrMo te polimetilmetakrilat – PMMA. Vrijeme trajanja ispitivanja je bilo u intervalima od po 3 minute, 8 minuta te 12 minuta te su nakon svakog vremenskog intervala svrdla čišćena, vagana te ispitivana na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM). Trošenje, odnosno gubitak mase radnog dijela svrdla ovisio je o materijalu podloge na kojoj je trošen.

Nakon vremenskog intervala od 12 minuta izmjeren je sljedeći utrošak mase radnog dijela svrdala: na podlozi od cirkonij oksida 0,31%, na CoCrMo podlozi 0,19%, na staklo-keramici 0,13% te na podlozi od polimetilmetakrilata 0,08%.

Zaključuje se da su se nakon vremenskog intervala od 3,8 i 12 minuta najviše potrošila skupina svrdala trošenih na cirkonij oksidu, a najmanje na polimetilmetakrilatu.

Ključne riječi: svrdlo, trošenje, stomatologija, tribologija, dijamant, staklo-keramika, PMMA, cirkonij oksid, CoCrMo legura

SUMMARY

Burs are cutting tools that are used in dentistry for the preparation of the tooth. The working part of the bur consists of abrasive particles. The wear of the abrasive part of the burs depends on the dental material they are used on.

The purpose of this investigation was to compare the diamond coated dental burs working part wear on four most common substrates used in dental prosthetics.

Grinding was performed with the dental air turbine handpiece with water cooling system and a speed of 350,000 rpm. Burs were mounted on a handpiece and loaded with 3 N load. Single type of green coarse-grit diamond burs, by the same manufacturer, was studied. Dental burs were divided in four groups, depending on the type of substrate on which they were ground. Materials used in this investigation were: glass-ceramics $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$, zirconium oxide - ZrO_2 , CoCrMo alloy and polymethylmethacrylate - PMMA. The wear was determined as the amount of dental bur weight lost in three time intervals (3 mins, 8 mins, 12 mins). After each interval burs were cleaned, weighed and analyzed by Scanning Electron Microscope (SEM). Dental bur working area wear depends on the type of substrate material on which it is grinded.

After 12 minutes the loss of abrasive diamond surface was measured as follows: 0,31% on zirconium oxide substrate, 0,19% CoCrMo alloy, 0,13% on glass-ceramics and 0,08% on polymethylmethacrylate.

Highest dental bur working area weight loss was measured in the group of dental burs that were ground on the ZrO_2 substrate, while the lowest dental bur working area weight loss was measured in the group of dental burs that were ground on the polymethylmethacrylate substrate.

Key words: dental bur, wear, dentistry, tribology, diamond, glass-ceramic, PMMA, zirconium oxide, CoCrMo alloy

1. UVOD

1.1. Tribologija

Tribologija (dolazi od grčkog *τριβος* što znači trenje, trošenje i slično) [1] je znanstveno-stručna disciplina koja se sveobuhvatno bavi problemima trenja i trošenja. [2] Trenje i trošenje su procesi koje čovjek poznaje još iz pradoba (npr. paljenje vatre, transport, itd.), a mogu biti korisni, ali i štetni. Tako bi bez trošenja bila nemoguća obradba odvajanjem čestica, ali nepoželjno trošenje stvara pak goleme gubitke materijala. Bez trenja bi bilo kakav oblik transporta na zemlji bio onemogućen, ali ono uzrokuje također goleme nepoželjne gubitke energije. Tribologija je interdisciplinarna znanost i crpi znanja iz nekih fundamentalnih znanosti: kemije, fizike, matematike, mehanike, mehanike fluida, metalurgije, znanosti o materijalima i strojarstva. Na slici 1 je prikazan transport kamenih blokova u Egiptu.



Slika 1. Transport kamenih blokova u Egiptu [3]

Glavna područja primjene tribologije: [4]

- dijelovi mehaničkih konstrukcija (zupčanici, ležaji, klizni elementi)
- materijali (novi materijali, keramika, polimeri, metali)
- obradba materijala (alatni materijali, sredstva za hlađenje i podmazivanje)
- podmazivanje (npr. ulja, masti, aditivi, itd.)

Tribološke mjere, tj. postupci i metode koje imaju za cilj postizanje prihvatljivih vrijednosti trenja i trošenja u realnim tribosustavima, mogu se podijeliti na: [4]

- izbor materijala
- zaštita površina od trošenja
- uhodavanje
- podmazivanje

1.2. Trošenje

Trošenje, kao i trenje, nije svojstvo materijala već predstavlja odgovor danog tribosustava. Ono predstavlja oštećenje površine ili odstranjenje materijala s jedne ili s obje strane dviju čvrstih površina koje su u međusobnom dodiru tijekom gibanja. Posljedice trošenja materijala mogu biti potpuno uklanjanje materijala s površine ili samo premještanje materijala na dodirnim površinama. U slučaju samo prijenosa materijala s jedne na drugu površinu materijala koji su u kontaktu, konačni volumen ili gubitak mase na međupovršini je nula, odnosno nema odvajanja materijala kao čestica trošenja. Gubitak materijala raste kako napreduje oštećenje materijala kod trošenja. [4]

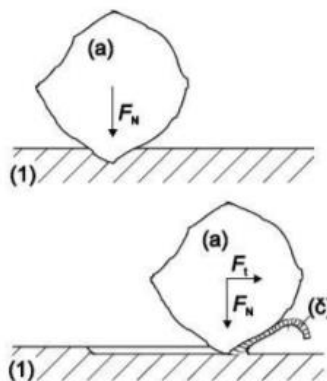
Osnovni mehanizmi trošenja su slijedeći [4]:

- Adhezija
- Abrazija
- Umor materijala
- Tribokorozija

1.2.1 Abrazija

Trošenje istiskivanjem materijala uzrokovano tvrdim česticama ili tvrdim izbočinama. Jedno od najzastupljenijih mehanizama trošenja, čak 50% procesa trošenja otpada na abraziju. Opisuje se s pomoću dvije faze jediničnog događaja:

- I faza: Dolazi do prodiranja abraziva (a) u površinu materijala (2) pod utjecajem normalne komponente sile
- II faza: Istiskivanje materijala (č) s trošene površine (2) pod utjecajem tangencijalne komponente sile.



Slika 2. Abrazijsko trošenje [4]

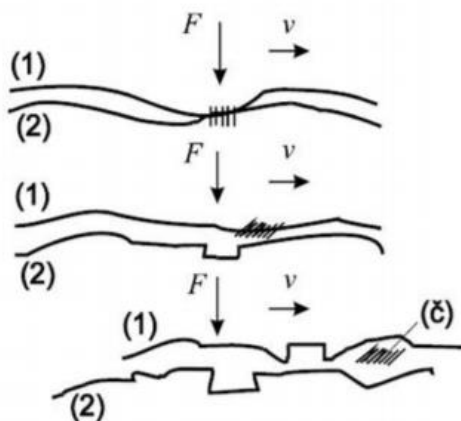
Otpornost na abraziju:

- I faza: Postoji nekoliko utjecajnih čimbenika, a najvažniji je omjer između mikrotvrdoće abraziva i materijala površine.
- II faza: Najutjecajniji čimbenik je način napredovanja pukotine koji može biti: duktilni, krhki ili umor površine. [4]

1.2.2 Adhezija

Prijelaz materijala s jedne klizne plohe na drugu pri relativnom gibanju, zbog procesa zavarivanja krutih faza. Opisuje se u tri faze:

- I faza: Nastajanje adhezijskog spoja različitog stupnja jakosti na mjestu dodira izbočina
- II faza: Raskidanje adhezijskog spoja.
- III faza: Otkidanje čestica. Oblik čestica je uglavnom lističast.



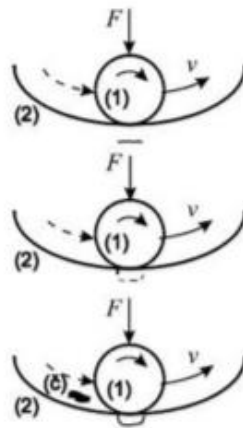
Slika 3. Adhezijsko trošenje [4]

Otpornost na adheziju: Tribološka kompatibilnost - materijali koji su u međusobnom dodiru da nisu skloni zavarivanju. Najbolju tribološku kompatibilnost ima par materijala s kristalnom strukturom HCP/HCP, dok je najlošija FCC/FCC. [4]

1.2.3 Umor površine

Odvajanje čestica s površine uslijed cikličkih promjena naprežanja. Opisuje se jediničnim događajima u 3 faze:

- I faza: Stvaranje mikropukotine. Ujedno i faza inkubacije jer ne dolazi do nikakvih odvajanja čestica.
- II faza: Napredovanje mikropukotine.
- III faza: Ispadanje čestica trošenja u obliku pločice ili ivera. Ti iveri stvaraju oštećenja na površini u obliku rupica pa se i ovaj oblik trošenja naziva pitting ili rupičasti.



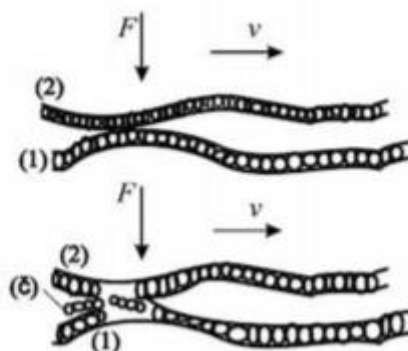
Slika 4. Umor površine [4]

Otpornost na umor površine zove se dinamička izdržljivost površine. [4]

1.2.4 Tribokorozija

Tribokorozija je trošenje pri kojem prevladavaju kemijske ili elektrokemijske reakcija materijala s okolišem. Opisuje se s dvije faze jediničnih događaja:

- I faza: Stvaranje sloja produkata korozije.
- II faza: Mjestimično razaranje sloja produkata korozije



Slika 5. Tribokorozija [4]

Otpornost na tribokoroziju: Kemijska pasivnost materijala u određenom mediju. [4]

2. DENTALNA TEHNOLOGIJA

2.1. Povijest

Dentalna tehnologija je disciplina stomatologije koja se bavi proizvodnjom dentalnih uređaja koji će zadovoljiti potrebe i zahtjeve stomatologa. Kroz povijest manjak zubiju se nadomiještao s protezama i krunicama od raznih vrsta materijala poput zlata, ljudskih ili životinjskih zubiju, kostima te drvenih materijala. Prirodni zubi koji su se koristili za proteze, prikupljeni su s raznih bojišta, bolnica ili od strane grobara te su se postavljali u izrezbarene proteze sačinjene od bjelokosti morža ili nilskog konja te od zlata. [5] Do kraja 18. stoljeća razvijene su proteze od stopljenih porculanskih zuba. Sredinom 19. stoljeća predstavljeni su prvi umjetni bazni materijali proteza: ebonit (ili tvrda guma) i celuloid, koji su 1940-ih zamijenjeni s pojavom polimetilmetakrilata (PMMA). Tijekom 20. stoljeća uvedeno je mnogo novih materijala i tehnika u stomatologiji, uključujući voštane odljeve za dentalne legure, širok raspon plemenitih metala i legura na bazi metala te dentalna keramika. [6] Proteze su se najčešće radile od strane stomatologa ili njihovih pripravnika koji su izvadili zube te od strane obrtnika poput zlatara. Kako je klinička stomatologija napredovala, razvijali su se i tehničari specijalizirani za izradu kruna i proteza. Dentalna tehnologija se temeljila na obrtu te je od 1970. nadalje postupno napredovala k više tehničkim i znanstvenim studijskim programima [7].

2.2. Dentalni uređaji

Uređaji se rade po mjeri, uglavnom ručno, te zahtijevaju individualnu obradu s malim svrdlima. Prije uvođenja voštanog odljeva, metalne krune i komponente su se izrađivale od žica koje su se lemile, punile, brusile i polirale ručnim zlatarskim alatom.

Bušilice za kliničku stomatologiju su bile spore i teške za rad jer su bile razvijene iz vrtnje kotača, bušilice tesara, zlatara te satnog mehanizma. [7]

1867. godine James Beal Morrison je patentirao stomatološku stolicu, po uzoru na Singerov šivaći stroj. Bušilicu pogonjenu papučicom patentirao je 1871. godine, a 1875. godine dodao joj je fleksibilno vratilo [8]. Na slici 6 prikazana je prvi stomatološki stolić.

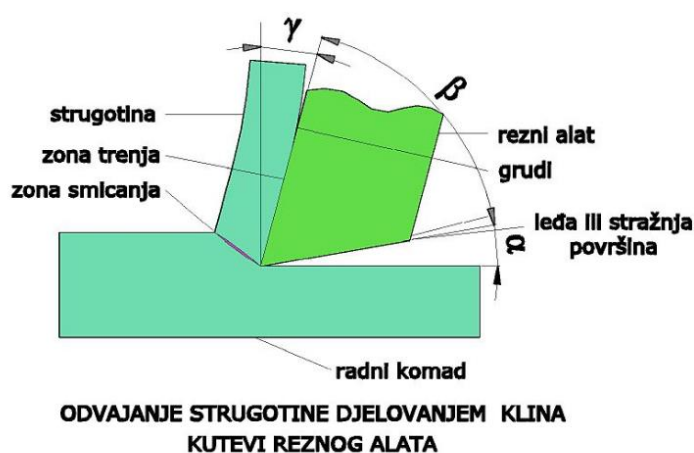


Slika 6. Morrisonov stomatološki stolac [9]

Kasniji razvoj stomatoloških uređaja uključuje električni pogonjene motore koji direktno napajaju bušilicu. Fleksibilno vratilo, kojeg je konstruirao škotski inženjer James Hall Nasmyth još uvijek se koristi kod mnogih dentalnih tehničara. Drška bušilice razvijena je kako bi poboljšala pouzdanost, jednostavnost korištenja i brzinu rada. Razvijene su zračne turbine, koje mogu postići visoke brzine, ali imaju mali okretni moment. Elektromotori pružaju brzine do 50,000 o/min s visokim okretnim momentom te se mogu pronaći u većini stomatoloških laboratorija [7].

3. BRUŠENJE ZUBI I DENTALNIH MATERIJALA

Brušenje je proizvodni postupak strojne obrade odvajanjem čestica koji skida promjenjiv presjek strugotine. Postupak se koristi kao jedan od završnih obrada, jer se njime postiže velika točnost i kvaliteta površine uskih tolerancija. Finim brušenjem postiže se stupanj hrapavosti od N3 do N5 i tolerancije u razredu od IT5 do IT6. Osnovna svojstva brušenja su **velike glavne brzine rezanja**, uz male posmične brzine i **alat bez geometrije**, oblik alata je različit i neujednačen. Glavna podjela brušenja je na strojno i ručno brušenje [10]. Na slici 7. prikazan je osnovni postupak obrade odvajanjem čestica.



Slika 7. Obrada odvajanjem čestica [10]

Brušenje zubi može se definirati kao postupak djelomičnog ili potpunog preoblikovanja i smanjivanja kliničke krune zuba, čime se stvara dovoljno prostora za fiksno protetski nadomjestak koji će svojim oblikom, položajem, bojom, veličinom i funkcijom nadomjestiti prirodne zube. Svako brušenje, struganje ili preparacija zuba, kako se često ovaj postupak naziva, nezaobilazan je postupak tijekom izradbe krunica kojim se nepovratno odstranjuju tvrda zubna tkiva. [11]

3.1. Sredstva za brušenje

Razvoj brusnih sredstava, zubarskih bušilica i izvora energije za njihovo pokretanje uvelike je utjecalo na preparaciju zuba. Kako je ranije spomenuto, Morrison je po uzoru na Singerov šivaći stroj razvio prvu zubarsku bušilicu i brusilicu na nožni pogon. Od Morrisonovog pronalaska jedini značajniji tehnološki napredak u razvoju stomatoloških instrumenata i strojeva u prva četiri desetljeća 20-og stoljeća bio je razvoj bušilica na električni pogon.

Bitne su se promjene počele događati krajem 30-ih godina razvojem dijamantnih brusnih sredstava. Godine 1947. uvedena su karbidna brusna sredstva, no stvarna prekretnica u stomatologiji bila je povećanje radne brzine bušilica koje su tada još bile pokretane trakom (Doriot bušilice). Nakon toga su razvijene zračne turbinske bušilice s velikim brojem okretaja.

Razvoj bušilica s radnom brzinom višom od 100 000 okretaja u minuti omogućio je mnogo učinkovitije bušenje i brušenje s manjim brusnim tijelima, što je pak omogućilo izradu složenijih i preciznijih preparacija. Također je uvelike olakšano uklanjanje zdrave cakline u svrhu postizanja što bolje preparacije.

S povećanje radne brzine brusilica nastao je problem pregrijavanja zuba. Brušenje zuba turbinskom bušilicom s visokim brojem okretaja bez hlađenja vodom uzrokuje tri puta veće zagrijavanje i oštećenje dentina, nego brušenje istom bušilicom s vodenim hlađenjem, što može rezultirati upalom pulpnog tkiva i njegovom nekrozom [11].

3.2. Brusni alati

Dva mikromotora i jedna turbinska bušilica su dovoljni pogonski uređaji za kvalitetno obavljanje terapijskih zahvata u fiksnoj protetici. U skladu s raznovrsnim radnim zadacima od preparacije zuba do obrade različitih nemetalnih i metalnih materijala u i izvan pacijentovih usta, moraju se upotrebljavati vrlo različite brzine okretaja pogonskih uređaja.

Načelno se razlikuje [11]:

- područje niskog broja okretaja (0-20 000 o/min)
- područje srednjeg broja okretaja (20 000-100 000 o/min)
- područje visokog broja okretaja (100 000-450 000 o/min)

Najdjelotvornije područje za rad turbinske bušilice je između 150 000 i 300 000 o/min. Kod kolječnika i nasadnika se ne može ustanoviti bitna razlika učinkovitosti ovisno o broju okretaja. Iako razvijanje topline pri preparaciji zuba nije samo pitanje brusne brzine, nego i jačine pritiska, može se kao osnovno pravilo uzeti da se iznad 5000 o/min mora upotrebljavati vodeno hlađenje. Značajno olakšanje u radu predstavlja uvođenje optičkih vlakana u tehniku izrade brusnih elemenata. Da bi precizna mehanika ovih instrumenata dugo i zadovoljavajuće zadržala svoju funkcionalnost, potrebno ih je svakodnevno održavati, pri čemu treba upotrebljavati sredstva koja preporuča proizvođač. Osim toga, valja obratiti pozornost da se svi dijelovi mogu sterilizirati u autoklavu.

Sredstva za brušenje [11]:

1. prema vrsti brusnog instrumenta
 - električna
 - turbinska
2. prema prijenosniku
 - za nasadnik
 - za kolječnik
3. prema fiksaciji
 - na mandrelu
 - čvrsto fiksirana
4. prema vrsti elementa
 - volfram-karbidna
 - dijamantna
5. prema namjeni za preparaciju
 - pločice
 - točkasti kamenčići
 - lećasti, cilindrični, konusni, valjkasti, čunjasti i kamenčići
 - cilindrična i konusna svrdla
 - metalne horiko pločice
 - papirnate pločice
 - freze
 - finireri

4. DENTALNA SVRDLA

Svrdlo ili bušni alat je alat koji se koristi kod bušenja. Svrdla se dijele na: spiralna svrdla, svrdla s pločicama od tvrdog metala, ravna svrdla, zabušivala (zabušivači), specijalne izvedbe spiralnih svrdala, noževe i motke za bušenje. Svrdla se u stomatologiji koriste više od 100 godina za preparaciju zuba. Prva svrdla su se proizvodila od čelika, a kasnije od volfram karbida, ali primarni dentalni instrument za restorativnu stomatologiju je dijamantno svrdlo, koje je uvedeno pred kraj 19. stoljeća. Široko rasprostranjena uporaba dijamantnih svrdala proizlazi iz njihove izvrsne otpornosti na abrazijsko trošenje, smanjene proizvodnje topline te dužeg životnog vijeka [12].

4.1. Klasifikacija dentalnih svrdala

Širok raspon materijala, oblika i reznih površina rezultiralo je s 20 internacionalnih normi vezanih uz proizvodnju dentalnih svrdala. BS EN ISO 6360 dijelovi 1,2,3,4,6,7 daju opći sustav numeriranja za sve tipove dentalnih rotirajućih instrumenata.

Ukupno se proizvodi oko 8000 raznovrsnih brusnih sredstava (za klinički i laboratorijski rad). Zbog potrebe za sistematiziranjem i razvrstavanjem toliko različitih brusnih sredstava razvijene su norme za brusna sredstva koji olakšavaju djelatnost ne samo industriji, već i trgovini i stručnjacima koji s njima rade. Norma se sastoji od 15 brojeva, kojima su precizno dane sve karakteristike jednog brusnog sredstva. Na slici 8 dan je prikaz kodiranja dentalnih svrdala.

Ključ za 15 brojeva je [11]:

- prve tri brojke označavaju materijal radnog dijela
- četvrta i peta brojka označuju tip nosača radnog dijela
- šesta brojka dužinu cijelog brusnog sredstva
- od sedme do dvanaeste brojke označava se oblik i karakteristike radnog dijela
- od trinaeste do petnaeste brojke označava se nominalna veličina radnog dijela



Slika 8. Primjer kodiranja dentalnih svrdala [7]

Norme su napravljene u skladu s potrebom za univerzalnog sustava klasifikacije te uspostavljaju cjelovit sustav kodiranja. Norme su prikazane u tablici 1.

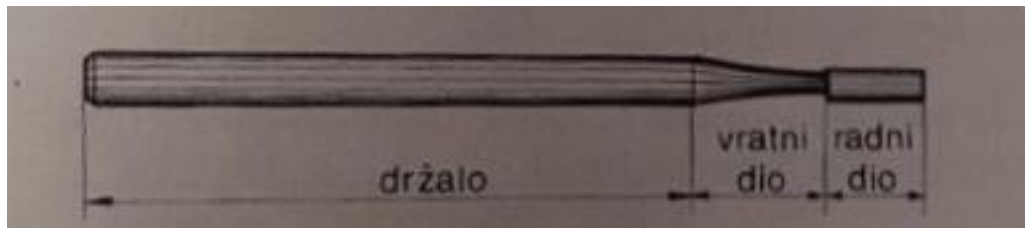
Tablica 1. Internacionalne norme za dentalne rotirajuće instrumente [7]

BS EN ISO 6360-1:2004	Stomatologija. Broj sustava kodiranja za rotirajuće instrumente. Generalne karakteristike.
BS EN ISO 6360-2:2004	Stomatologija. Broj sustava kodiranja za rotirajuće instrumente. Oblici.
BS EN ISO 6360-3:2005	Stomatologija. Broj sustava kodiranja za rotirajuće instrumente. Specifične karakteristike svrdla i rezača.
BS EN ISO 6360-4:2004	Stomatologija. Broj sustava kodiranja za rotirajuće instrumente. Specifične karakteristike dijamantnih instrumenata
BS EN ISO 6360-6:2004	Stomatologija. Broj sustava kodiranja za rotirajuće instrumente. Specifične karakteristike abrazivnih instrumenata.
BS 6828-8.1:1987, EN 27787-1:1989, ISO 7787-1:1984	Dentalni rotirajući instrumenti. Rezači. Specifikacija čelični laboratorijskih rezača.
BS EN 27787-3:1994, ISO 7787-3:1991	Specifikacija dentalnih rotirajućih instrumenata. Rezači. Karbidni laboratorijski rezači za tokarilice.
BS EN ISO 10323:1996	Dentalni rotirajući instrumenti. Promjeri provrta za diskove i kotače.
BS EN ISO 13295:1997	Dentalni rotirajući instrumenti. Vretena.
BS EN ISO 1797-1:1995	Dentalni rotirajući instrumenti. Osovine. Metalne osovine.
BS EN ISO 1797-2:1995	Dentalni rotirajući instrumenti. Osovine. Plastične osovine.
BS EN ISO 2157:1995	Dentalni rotirajući instrumenti. Nominalni promjeri i kodni broj oznaka.
BS EN ISO 3823-1:1999	Dentalni rotirajući instrumenti. Svrdla. Čelična i karbidna svrdla.
BS EN ISO 3823-2:2003	Dentalni rotirajući instrumenti. Svrdla. Svrdla za završnu obradu.
BS EN ISO 7711-1:1998	Dentalni rotirajući instrumenti. Dijamantni instrumenti. Dimenzije, zahtjevi, oznake i pakiranje.
BS EN ISO 7711-2:1996	Dentalni rotirajući instrumenti. Dijamantni instrumenti. Diskovi.
BS EN ISO 7711-3:2004	Stomatologija. Dijamantni rotirajući instrumenti. Veličina zrna, oznaka i boja koda.
BS EN ISO 7786:2001	Dentalni rotirajući instrumenti. Laboratorijski abrazivni instrumenti.
BS EN ISO 7787-2:2001	Dentalni rotirajući instrumenti. Rezači. Laboratorijski abrazivni rezači.
BS EN ISO 7787-4:2002	Dentalni rotirajući instrumenti. Rezači. Minijturni laboratorijski abrazivni rezači.
BS EN ISO 8325:2004	Stomatologija. Metoda ispitivanja rotirajućih instrumenata.

4.2. Vrste dentalnih svrdala

Svrdla se sastoje od držača, vratnog dijela te radnog dijela. Slične su izrade i karbidna i dijamantna svrdla, ali na nekim izvedbama nedostaje vratni dio te se radni dio izravno nastavlja na držač. Držač se izrađuje od visokokvalitetnog čelika cilindričnog oblika. [13]

Tijelo dentalnih svrdla mora biti izrađeno od istog materijala kao i rezna glava, odnosno radni dio ili rezna glava spaja se lemljenjem na tijelo svrdla, a tvrdoća bi morala biti minimalno 250 HV 5. Tijelo svrdla je obično 2.35 mm, ali može biti i 3 mm duljine [7]. S jedne strane se nastavlja u vrat i radni dio, a suprotna strana služi za sidrenje u hvatište nasadnog instrumenta. Sidrenje turbinskih nastavaka se ostvaruje trenjem, a kod sporovrtećih instrumenata metalnom kvačicom. Zbog toga su turbinska svrdla ravna, dok ostala svrdla imaju posebno izrađeno sidrište. Na slici 9 prikazano je svrdlo s osnovnim dijelovima.



Slika 9. Svrđlo s osnovnim dijelovima [13]

Radni dio svrdla se sastoji od reznih tijela ili abrazivnih čestica. Izrađuje se u različitim oblicima, ovisno o namjeni [13]. U tablici 2 je prikazan pregled vrste i namjene brusnih sredstava za preoblikovanje zubi.

Tablica 2. Pregled vrste i namjene brusnih sredstava za preoblikovanje zubi [11]

Vrsta	Upotreba
Fisurno svrdlo koničnog oblika	Orijentacijski žljebovi, brušenje okluzalne površine zuba, nagib funkcionalne kvržice, stabilizacijski žljebovi, aproksimalni retencijski žljebovi, obrisi, okluzalna stepenica, istmus, finiranje stepenice, završna obrada aksijalnih ploha preparacije
Dugačko tanko fisurno svrdlo koničnog oblika	Uglovi aproksimacijskih ormarića, aproksimalni retencijski žljebovi
Dijamantno svrdlo koničnog oblika zaobljenog vrška	Orijentacijski žljebovi, brušenje okluzalne površine zuba, nagib funkcionalne kvržice
Kratko tanko dijamantno svrdlo koničnog oblika	Početno brušenje aproksimalnih aksijalnih ploha (stražnji zubi)
Dugačko tanko dijamantno svrdlo koničnog oblika	Početno brušenje aproksimalnih aksijalnih ploha (prednji zubi)
Dijamantno svrdlo koničnog oblika ravnog vrška	Brušenje aksijalnih ploha, izrada pravokutne cervikalne stepenice
Dugačko dijamantno svrdlo koničnog oblika zaobljenog vrška	Brušenje aksijalnih ploha, izrada zaobljene cervikalne stepenice
Dugačko čelično svrdlo koničnog oblika zaobljenog vrška	Završna obrada aksijalnih ploha, izrada zaobljene cervikalne stepenice
Mala dijamantna pločica	Brušenje prednjih zubi
Plamičasto dijamantno svrdlo	Izradba aproksimalnog proširenja ormarića, gingivalna kosina cervikalne stepenice
Bijeli polirni kamen koničnog oblika	Završna obrada okluzalne kosine

4.3. Podjela prema materijalu radnog dijela svrdla

4.3.1. Volfram karbina svrdla

4.3.1.1 Volfram karbid

Volframov karbid (WC) jedan je od najtvrdih materijala i glavnih proizvoda na bazi volframa, a koristi se za izradu brzoreznih alata ili kao prevlaka na alatima od tvrdog metala, te za alate koji se upotrebljavaju u naftnoj industriji i rudarstvu za najkritičnije dijelove (vrhove bušilica i rudarskih drobilica). Volframov karbid ima tvrdoću 9,5 na Mohsovoj ljestvici od 10 (za dijamant) i talište pri 2870 °C [14].

4.3.1.2 Kemijska svojstva volfram karbida

Postoje dva kemijska spoja volframa i ugljika, WC i W_2C . Oba spoja se mogu koristiti za tvrde prevlake na alatima kod alatnih strojeva, kao što su svrdla za bušenje i glodala, kojima se vijek trajanja povećava za 3 ili više puta. Volframov karbid WC se dobiva spajanjem metala volframa i ugljika na temperaturama od 1400 do 2000 °C. Drugi način dobivanja je kemijska reakcija metala volframa ili plavog WO_3 , s mješavinom CO/CO_2 i H_2 na temperaturama od 900 do 1200°C. Kod postupka kemijskog prevlačenja u parnoj fazi ili CVD, prevlaka volframovog karbid WC se dobiva zagrijavanjem WO_3 s grafitom na 900 °C ili zagrijavanjem WO_3 s grafitom u vodik u na 670°C. [15]

4.3.1.3 Fizikalna svojstva volfram karbida

Volframov karbid WC se topi na 2 870 °C, izuzetno je tvrd materijal (8,5 – 9,0 na Mohsovoj ljestvici, a tvrdoća po Vickersu je 2242 HV) i ima vrlo mali električni otpor ($\sim 2 \times 10^{-7}$ Ohm/m). Postoje dvije faze volframovog karbida WC: alfa-volframov karbid ili α -WC s heksagonalnom kristalnom rešetkom, i beta-volframov karbid ili β -WC s kubičnom kristalnom rešetkom.

4.3.1.4 Svrdla

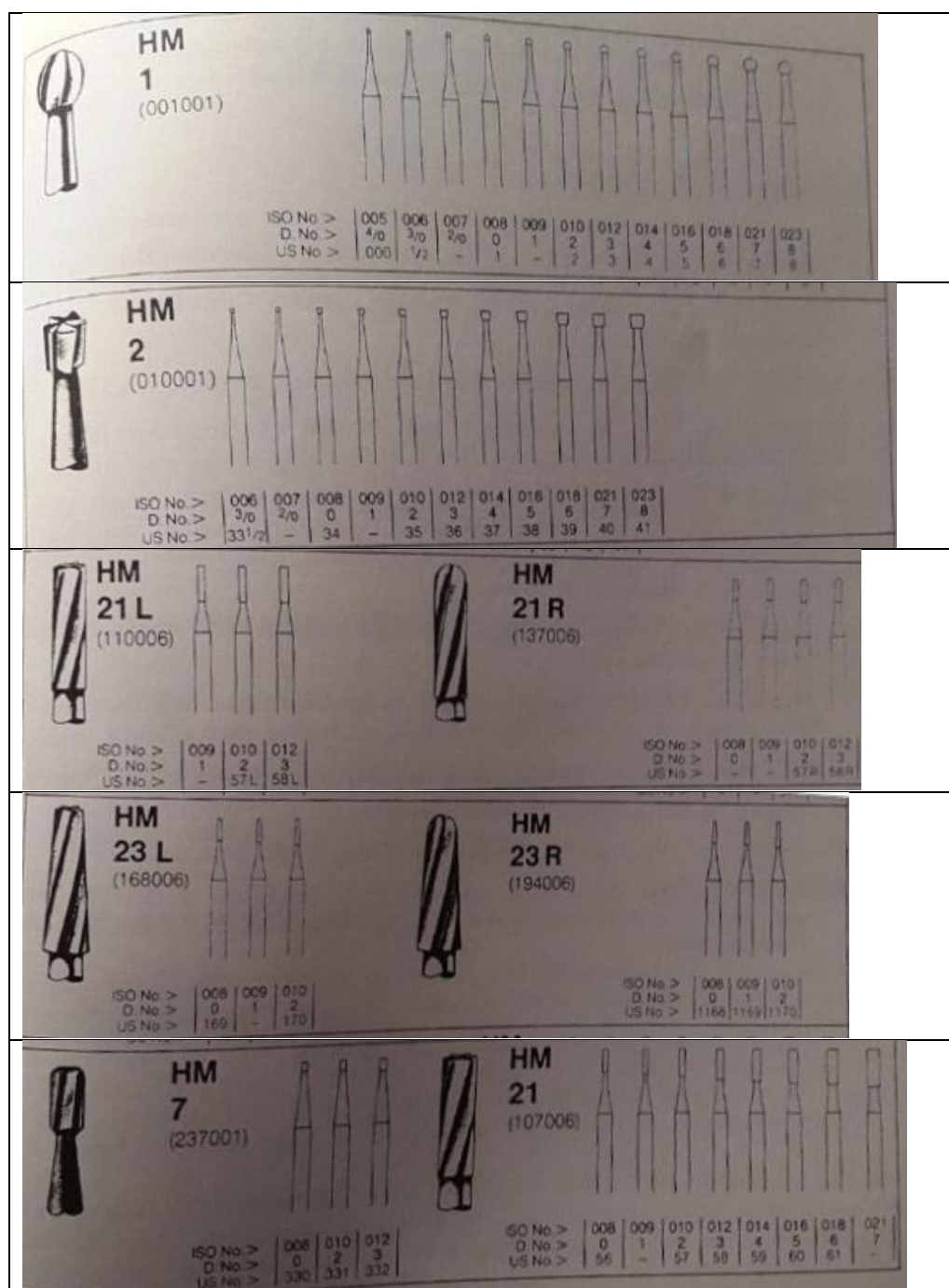
Glava svrdla izrađuje se sinteriranjem, tj. tlačnim legiranjem volfram karbidnog praha i kobaltnog praha na visokoj temperaturi u vakuumu. Gotove volfram karbidne šipke režu se na male cilindre koji se navare na čelične šipke (*eng. blank*) čineći glatko svrdlo. Zatim se glava takvoga glatkog svrdla obrađuje dijamantnim diskovima do željenog oblika i vrste glave svrdla. Nakon što je gotova glava svrdla, oblikuje se njegov čelični dio, istanji, zagladi i izradi dio kojim se svrdlo retinira u kolječniku, nasadniku ili turbini. Ovisno o vrsti namjene razlikuju se [11]:

- rezači
- finireri
- polireri

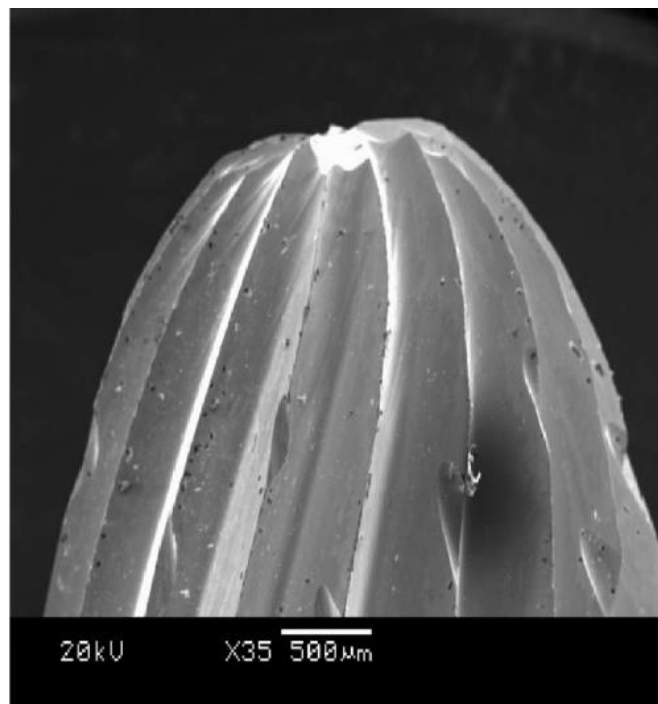
Svrdla koja služe za rezanje izrađuju se sa šest do osam noževa, a svrdla kojima je namjena finiriranje s dvanaest, dvadeset i više noževa. Polireri koji služe za završno zaglađivanje brušenih ploha imaju trideset i više noževa. Svaki nož ili narez ima svoje lice, naličje i potporni dio.

Volfram karbidna svrdla služe za brušenje zdravog dentina, za rezanje metala, akrilata te finiranje i zaglađivanje površinskih ploha preparacije. Postoje u raznim oblicima i za razne namjene. U fiksnoj su protetici posebno primjenjivi rezači metala, finireri, polireri te freze za metal, keramiku i akrilat [11]. U tablici 3. dan je shematski prikaz volfram karbidnih svrdala.

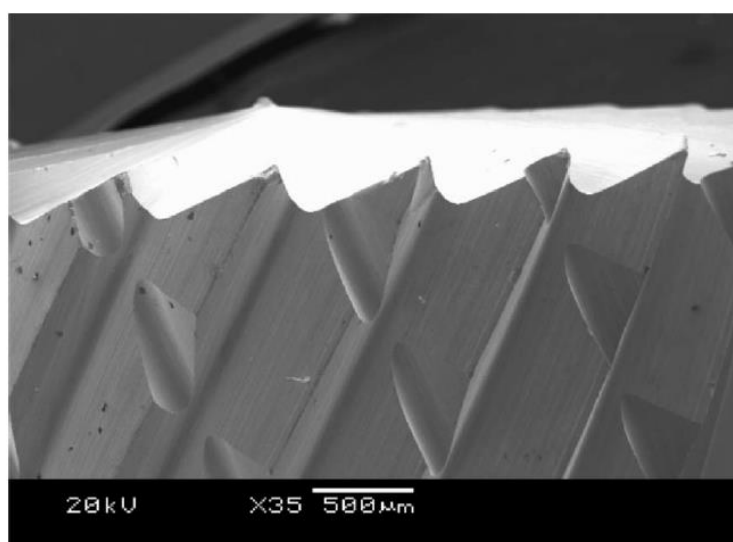
Tablica 3. Shematski prikaz volfram karbidnih svrdala [12]



Volfram karbidna svrdla korištena u dentalnoj tehnologiji podliježu odlamanju rubova, prikazano na slikama 10 i 11, te se s time smanjuje njihova učinkovitost. Sinterirani materijal je podloga za stvaranje reznih rubova.

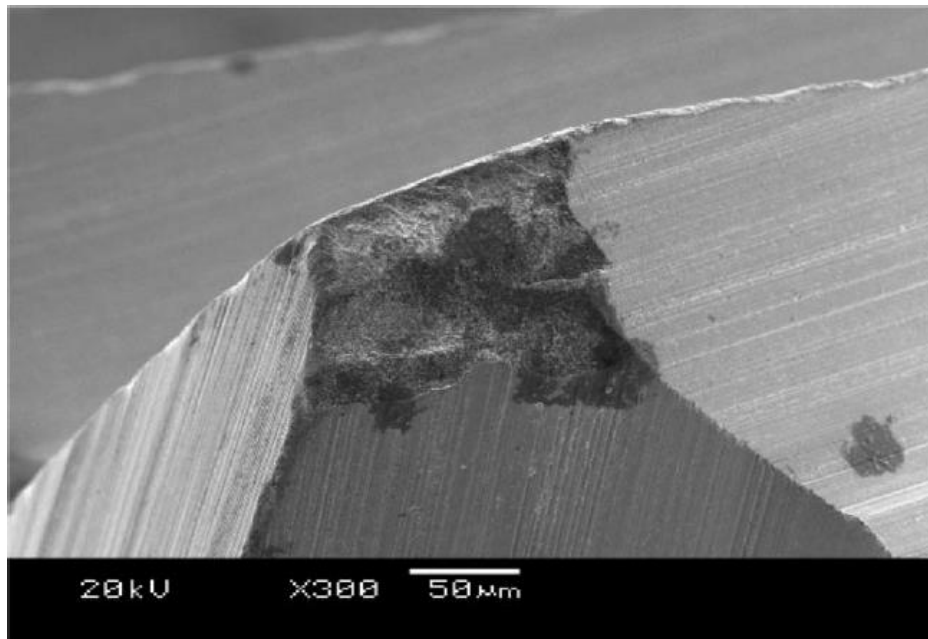


Slika 10. Ozubljenja volfram karbidnog svrdla [7]

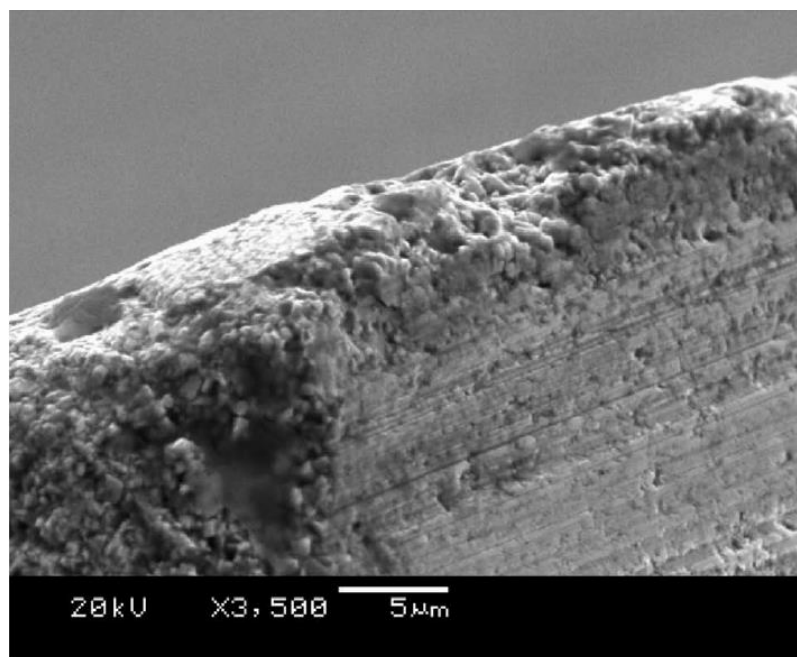


Slika 11. Bačvasto volfram karbidno svrdlo [7]

Ispitivanje površine, prikazano slikama 12 i 13, pokazuje odlamanje rubova i otupljivanje površine čime je smanjena učinkovitost.



Slika 12. Odlamanje volfram karbidnog svrdla [7]



Slika 13. Lom na rubu volfram karbidnog svrdla [7]

4.3.2 Dijamantna svrdla

4.3.2.1 Svojstva dijamanta

Dijamant je napredni materijal s izvrsnom kombinacijom fizičkih i kemijskih svojstava te je ujedno i najtvrdi mineral u prirodi. Također dijamant ima najveću temperaturu tališta (3820 K ili 3547°C), toplinsku vodljivost i najnižu molarnu entropiju ($2,4 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) od bilo kojeg elementa. Isparava na 4200°C. Na Mohsovoj skali tvrdoće zauzima najviše mjesto sa tvrdoćom broj 10. Stoga je obećavajući materijal za širok raspon primjena. U prirodi dolazi u obliku dvije polimorfne modifikacije: kubični i heksagonski dijamant. Međutim, zbog njegove cijene i dostupnosti većina aplikacija nije doživjela svoj puni potencijal. U tablici 4 prikazana su svojstva dijamanta.

Tablica 4. Svojstva dijamanta [7]

Svojstva	Primjena
Visoka otpornost trošenju	Rezni alati
Kemijska inertnost	Elektrokemijski senzori
Visoka toplinska vodljivost	Raspršivači topline
Biološka inertnost	In vitro primjena
Poluvodljivi kad su dopirani	Elektronička primjena
Visoka otpornost	Elektronički uređaji

4.3.2.2 Svrdla

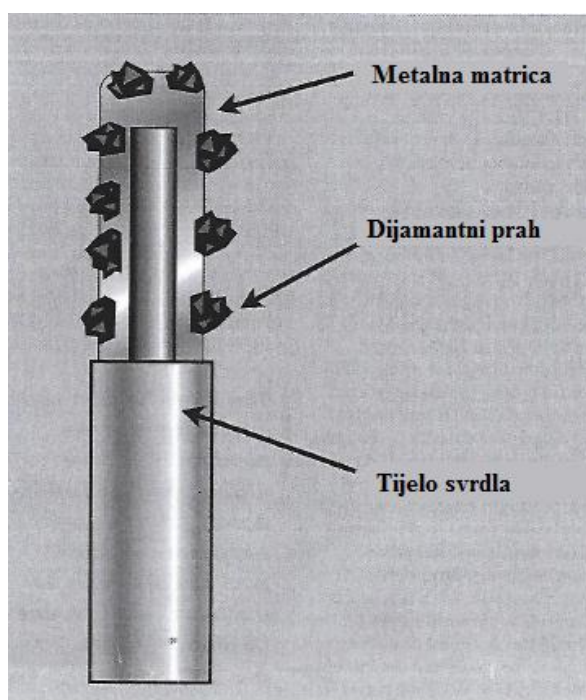
Dijamantna svrdla su najučinkovitija sredstva za brušenje zubne cakline, kao i za rezanje dentalne keramike. Izrađene su od brojnih nepravilnih oštih dijamantnih komadića slijepljenih za čelični instrument vezivom na bazi nikla i kroma u jednom do tri sloja na površini instrumenta [11]. Zaslužni za proizvodnju prvog dijamantnog svrdla 1897. godine su Willman i Schroeder, sa Sveučilišta u Berlinu. Razvoj dijamantnih svrdala bio je jednim dijelom potaknut i zbog brzog gubitka oblika silicij karbidnih svrdala zbog trošenja. Moderno dijamantno svrdlo proizveo je 1932. godine W.H. Drendel, njemački industrijalac, koji je razvio proces spajanja dijamantnih čestica na podlogu od nehrđajućeg čelika.

Do 1939. godine dijamantna svrdla su se naveliko koristila u Europi te su bila predstavljena u SAD-u u dvanaest oblika [12]. Na slici 14 prikazana su dijamantna svrdla.



Slika 14. Dijamantna svrdla [16]

Najbolja dijamantna svrdla imaju jednoliko postavljene abrazivne dijelove. Svaki komadić abrazivne čestice otkine malu količinu zubnog tkiva. Danas na tržištu postoje dijamantna svrdla koja omogućuju velik broj preparacija u fiksnoj protetici prije njihove zamjene novim. Ona su rezultat novijeg načina proizvodnje, gdje se nanosi nekoliko slojeva dijamantnih čestica. Prednost takvih svrdala je što imaju duži vijek trajanja, što štite zub smanjeno se zagrijavajući te su ekonomičnija jer se ne moraju često mijenjati. Veličina zrna dijamantnog sloja definira finoću svrdla [11].



Slika 15. Dijamantno svrdlo [12]

Dijamantna svrdla imaju jedan ili više slojeva dijamantnog praha pričvršćenih na tijelo svrdla, kako je prikazano na slici 15.

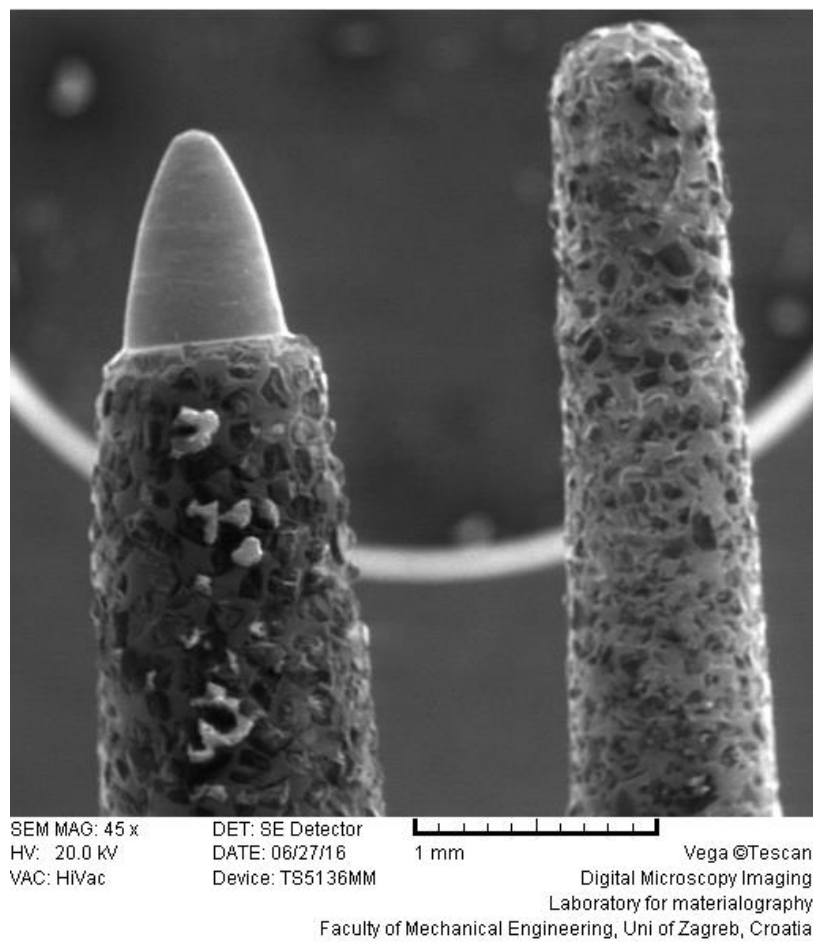
Tijelo svrdla se najčešće proizvodi od visokočvrstih metala kao što su alatni čelici, nehrđajući čelici ili druge legure. Radni dio tijela svrdla je obrađen na poseban oblik te se na njega nanosi dijamant [12].

Različite finoće standardizirane su i označene obojenim prstenima [11]:

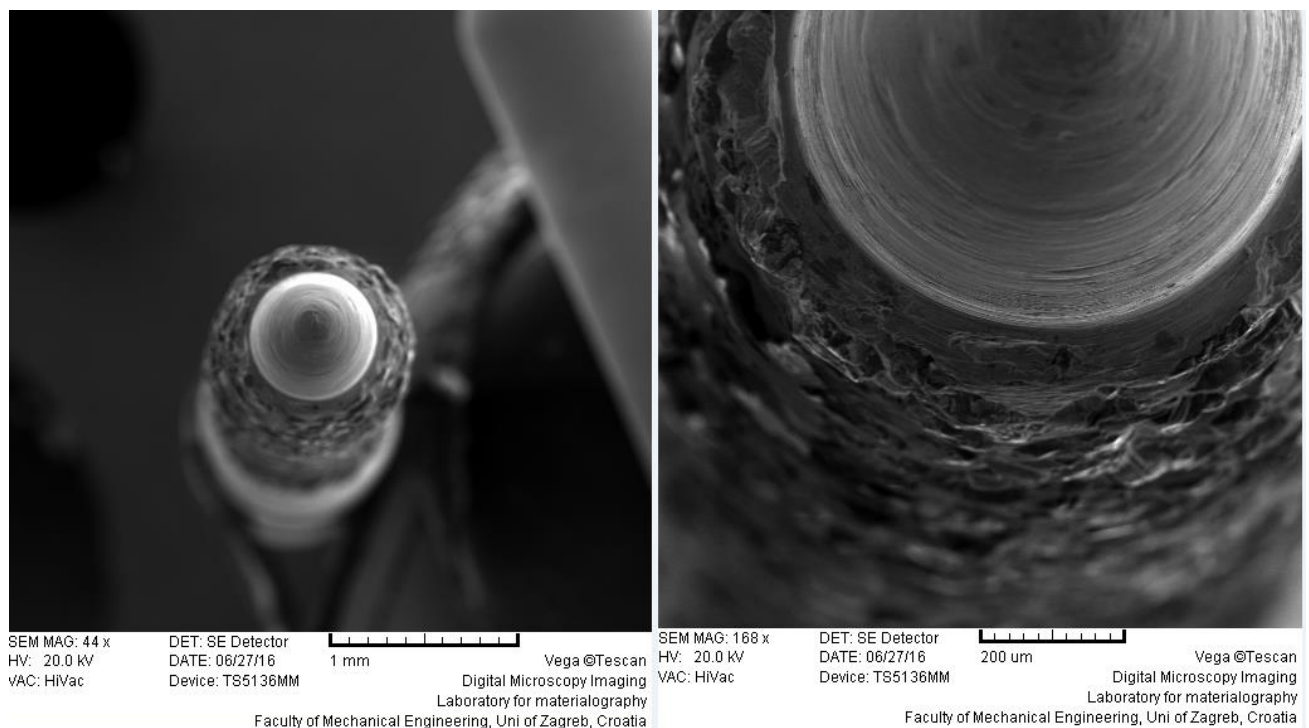
- žuti prsten - superfina zrnatost
- crveni prsten - fina zrnatost
- plavi prsten - standardna zrnatost
- zeleni prsten - gruba zrnatost
- crni prsten - supergruba zrnatost

Bez obzira na veliku raznolikost veličina i oblika dijamantnih brusnih sredstava, postoji njih nekoliko koja čine osnovni set instrumenata za uporabu u fiksnoj protetici. Oblik svrdla, ponajviše oblik njegova vrha, određuje izgled i geometriju vratnog dijela brušenog zuba.

Za većinu današnjih materijala koji se koriste za izradu estetskih fiksnoprotetskih nadomjestaka potrebno je da vratni dio bataljaka završava zaobljenom stepenicom. Stoga se najčešće pri brušenju primjenjuje cilindrično svrdlo zaobljena vrha. Cilindričnim svrdlom stomatolog sam definira konusni kut o kojemu ovise retencijska i rezistencijska obilježja bataljka, a zaobljeni vrh pruža dovoljno mjesta za estetske materijale krunice u njezinu najosjetljivijem cervikalnom dijelu. Uporaba svrdala s integriranim konusnim kutem može rezultirati prebrušavanjem bataljka i znatnim povećanjem konusnog kuta. Stoga se eventualno mogu koristiti pri brušenju za višestruke konstrukcije kada su i konusni kutovi nešto veći od preporučenih 6° - 8° . Svako grubo svrdlo za brušenje ima oblikom svoj par u svrdlu za finiranje i poliranje. Finireri i polireri odgovarajućih oblika primjenjuju se nakon grubog brušenja. Ovaj postupak smanjuje mogućnost pogrešaka u otiskivanju i laboratorijskom dijelu izrade nadomjestaka, a obavezan je pri izradi nadomjestaka CAD/CAM tehnologijom. [11] Na slici 16 prikazana su dva uzorka, odnosno potrošeno i nepotrošeno dijamantno svrdlo snimljeno na skenirajućem elektronskom mikroskopu TESCAN Vega 5136 mm na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 16. Potrošeno i nepotrošeno dijamantno svrdlo



Slika 17. Dijamantno svrdlo nakon cca. 4h rada

Na slici 17 prikazan je uzorak 1, dijamantno svrdlo nakon cca. 4h rada. Usporedbom sa slikom 16 uočava se kako je do trošenja, odnosno gubitka materijala, u ovom slučaju sloja dijamanta, došlo na vrhu svrdla.

Standardna dijamantna svrdla se proizvode ugrađivanjem dijamanta na svrdla pomoću raznih tehnika, poput galvanizacije i CVD postupka kako bi osigurala kontinuirana rezna površina. Rezna učinkovitost je povezana s metodom koja se koristi za ugradnju dijamanta na svrdlo.

4.3.2.3 Postupci nanošenja dijamanta na svrdla

4.3.2.3.1 Galvanizacija

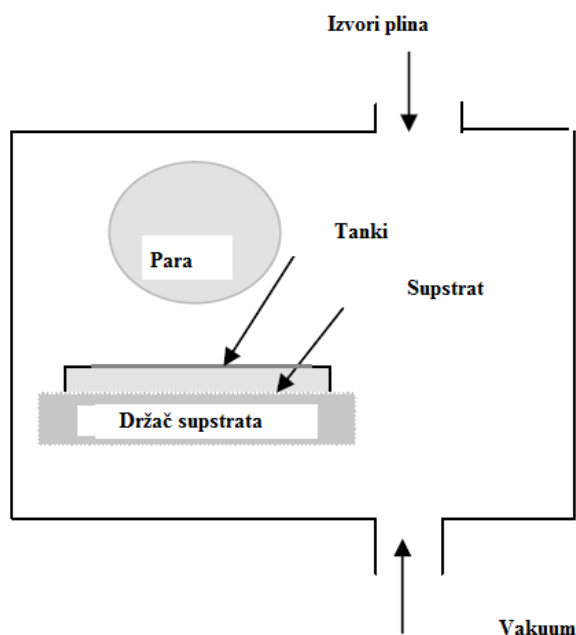
Galvanizacija je primjena istosmjerne električne struje stalne jakosti, ili takozvane galvanske struje. U medicini, galvanizacija je primjena istosmjerne, stalne struje radi liječenja. U tehnici, galvanizacija se primjenjuje kod galvanotehnika. Galvanotehnika je skup elektrokemijskih postupaka za nanošenje metalnog sloja na površinu nekog predmeta, najčešće uz istodobno elektrolitsko otapanje metala na anodi i njegovo taloženje na katodi. Razlikuju se dva osnovna galvanotehnička postupka: elektroplatiranje i elektrooblikovanje.

Elektroplatiranje (galvanostegija) nanošenje je tankog sloja nekog metala na površinu predmeta izrađenog od drugog metala radi zaštite, uljepšavanja ili postizanja određenih površinskih svojstava. Elektroformiranje (galvanoplastika) nanošenje je metala na električki vodljiv model radi proizvodnje složenih konstrukcijskih dijelova, kalupa, matrica i sl. [17]

4.3.2.3.2 CVD postupak

Kemijsko prevlačenje iz parne faze je metoda za dobivanje gustih strukturalnih dijelova ili prevlaka. Predstavlja niz kemijskih reakcija koje transformiraju plinske molekule i metalne čestice u čvrsti materijal, u obliku tankog sloja, na površinu supstrata (osnove).

Reaktorski sustav potreban za izvođenje CVD postupka mora osigurati nekoliko osnovnih funkcija zajedničke za sve tipove sustava. Na slici 18 dan je prikaz jednostavne sheme CVD postupka. Takav sustav mora dopustiti transport reaktanta i diluentnih (razrijeđivač) plinova do mjesta reakcije, osigurati aktivacijsku energiju za reaktante (toplina, radijacija, plazma), održavanje potrebnog tlaka i temperature, dopustiti optimalno izvođenje kemijskih procesa za depoziciju filma, kao i uklanjanje nusprodukata poput plinova i para. Ove funkcije moraju se provoditi uz odgovarajuću kontrolu, maksimalnu efikasnost i potpunu sigurnost. [7]



Slika 18. Jednostavna shema CVD postupka [7]

CVD proces rasta kristala koji se ne koristi samo za dijamant već i za niz različitih poluvodiča i ostalih kristalnih materijala poput silicija i galijevog arsenida. Ova industrijska područja su raznolika i kreću se od plinskih turbina do plinskih štednjaka, kao i od izrade kovanica do nuklearnih elektrana. Također CVD postupak dijamantnih filmova pruža prednost u pogledu ujednačenosti prevlake preko površine. [7]

4.4. Svrkla za preparaciju korijenskog kanala

Svrkla za preparaciju korijenskog kanala izrađuju se od nehrđajućeg čelika. Standardizirana su prema dužini svrdla te dužini i debljini radnog dijela. Radni je dio spiralnog oblika kako bi se strugotine efikasno izbacivale iz korijenskog kanala. Njima se preparira korijenski kanal za izradu nadogradnje.

Većina proizvođača konfekcijskih nadogradnji proizvodi i pripadajuća svrdla za preparaciju korijenskog kanala koja svojim oblikom i promjerom idealno odgovaraju samoj nadogradnji (cilindrična ili konična) [11].

5. EKSPERIMENTALNI DIO

Eksperimentalni rad proveden je na dvije lokacije, ordinacija na Stomatološkom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, gdje je odrađen praktični dio istraživanja trošenja svrdala, dok su na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu bila načinjena mjerenja mase i fotografije trošenja svrdala.

5.1 Materijali

5.1.1 Svrdlo

Svrdla korištena u ovom radu su dijamantna svrdla kojima je radni dio oblika torpeda, tvrtke Komet Dental (Savezna Republika Njemačka, EU). Materijal svrdla je nehrđajući čelik X10CrNi18-8, koji se koristi u medicinskoj industriji za izradu instrumenata za kratkotrajni kontakt s koštanim tkivom/dentinom. Radni dio svrdla (*eng. blank*) po specifikaciji proizvođača mase je 0,28 g te je prevučen dijamantnom prašinom nanesenom postupkom galvanizacije [prilog I]. Masa svrdla korištenog u ispitivanju ovog diplomskog rada mjerena na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu preciznom vagom marke Ohaus (SRNJ, EU) je u intervalu (0,34030, 0,34507 g). Kemijska struktura materijala svrdla je prikazana u tablici 5, a u tablici 6 prikazana je tvrdoća materijala svrdla.

Tablica 5. Kemijski sastav nehrđajućeg čelika X10CrNi18-8 [prilog I]

	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
Max udio [%]	0,05						16,00		6,00
Min udio [%]	0,15	2,00	2,00	0,045	0,015	0,11	19,000	0,80	9,50

Tablica 6. Tvrdoća nehrđajućeg čelika X10CrNi18-8 [prilog I]

Tvrdoća HV	Sirovina	Poluproizvodi, šipke, žice, trake
Min.	≈ 403	≈ 505
Max.	≈ 601	≈ 656

Prema kemijskom sastavu i iznosima tvrdoća materijal svrdla pripada nehrđajućem čeliku X10CrNi18-8.

Na slici 19 su prikazana neprevučena svrdla, a na slici 20 svrdla prevučena dijamantom.



Slika 19. Ispitna neprevučena svrdla [prilog 1]



Slika 20. Svrdlo prevučeno dijamantnom prašinom [prilog 1]

5.1.2 Podloga

Podloge korištene u ovom radu su: leucitna staklo-keramika $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O}$ IPS Empress CAD, Cirkonij oksid - ZrO_2 , legura CoCrMo te polimetilmetakrilat PMMA.

5.1.2.1 Staklo-keramika - IPS Empress CAD

IPS Empress CAD je staklo-keramika na bazi leucita. Na slici 21 prikazana je IPS Empress CAD keramika, a u tablicama 7 i 8 kemijski sastav te fizikalna svojstva IPS Empress CAD keramike.



Slika 21. IPS Empress CAD [prilog II]

Tablica 7. Kemijski sastav IPS Empress CAD staklo-keramike [prilog II]

	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Ostali oksidi	Pigmenti
Udio [%]	60 - 65	16 - 20	10 - 14	3,5 - 6,5	0,5 - 7	0,2 - 1

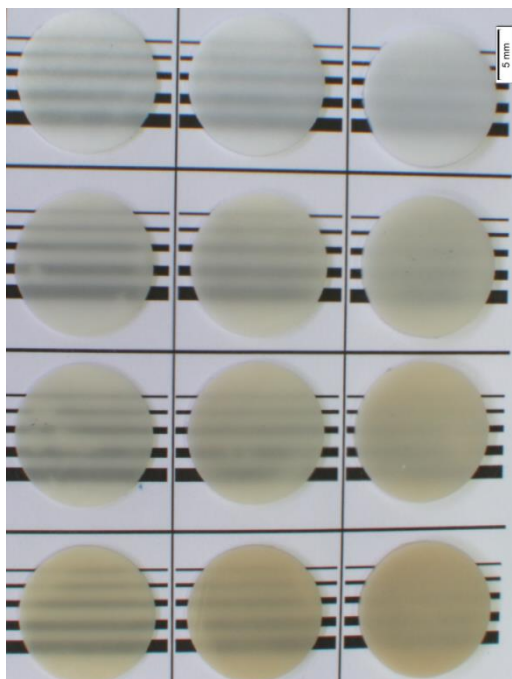
Tablica 8. Fizikalna svojstva IPS Empress CAD keramike [prilog II]

Udarni rad loma	$1.3 \text{ MPa m}^{1/2}$
Čvrstoća	6200 MPa
Savojno naprezanje	160 MPa
Koeficijent toplinskog širenja (100-400°C)	$16.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Koeficijent toplinskog širenja (100-500°C)	$17.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
Kemijska topljivost	$25 \mu\text{g}/\text{cm}^2$
Modul elastičnosti	62 GPa

5.1.2.2 Cirkonij oksid (bezmetalna keramika) ZrO_2

- Oksidna keramika
- Nemetalni, anorganski materijal
- Visoke performanse keramike: Izvrsna žilavost i savojna čvrstoća

Na slici 22 prikazan je cirkonij oksid, a u tablici 9 njegova fizikalna svojstva. [prilog III]

Slika 22. Cirkonij oksid ZrO_2 [prilog III]Tablica 9. Fizikalna svojstva cirkonij oksida ZrO_2 [prilog III]

Gustoća ρ [g/cm ³]	Modul elastičnosti [GPa]	Udarni rad loma [1.3 MPa m ^{1/2}]	Svojna čvrstoća σ_B [MPa]	Tvrdoća [HV10]	Koeficijent toplinskog širenja α [10 ⁻⁶ /K]	Talište [°C]
5,89 – 6,1	200	6-10	1000- 1400	1300	10	2680

5.1.2.3 Legura CoCrMo

- Za izradu pojedinačne krunice i mostova
- Izvrsna fizikalna svojstva
- Visoka biokompatibilnost
- Visoka otpornost na koroziju i toplinu

Na slici 23 prikazana je legura CoCrMo, a u tablicama 10 i 11 njena kemijska struktura i fizikalna svojstva. [prilog II]



Slika 23. Legura CoCrMo [prilog III]

Tablica 10. Kemijski sastav legure CoCrMo [prilog III]

	Co	Cr	Mo	Mn,Nb,Si,Fe
Udio [%]	63	29	6	2

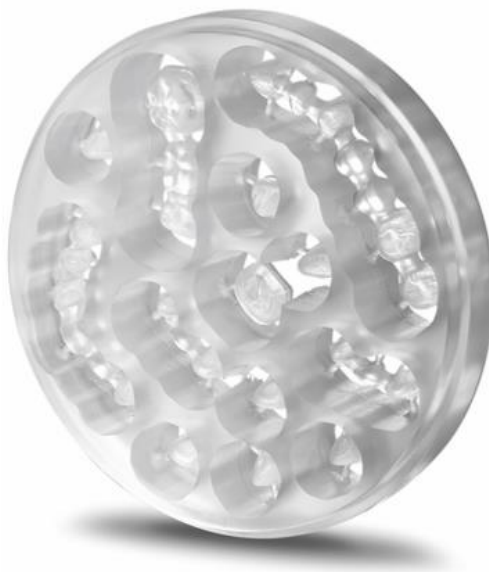
Tablica 11. Fizikalna svojstva legure CoCrMo [prilog III]

Gustoća [g/cm ³]	Tvrdoća po Vickersu [HV 5/30]	Koeficijent toplinskog širenja (25-500°C) [K ⁻¹]	Modul elastičnosti [Gpa]	Dogovorena granica razvlačenja Rp0,2 [MPa]
8,8	300	14.4 x 10 ⁻⁶	210	330

5.1.2.4 Polimetilmetakrilat PMMA

- Akrilatni termoplast
- Vrlo jednostavan za tokarenje
- Vrlo dobra kvaliteta površine
- Izgara bez ostataka
- Jeftina alternativa
- Kemijski sastav: 100% PMMA
- Savojna čvrstoća: 105 Mpa

Na slici 24 je prikazan polimetilmetakrilat PMMA. [prilog III]



Slika 24. Polimetilmetakrilat PMMA [prilog III]

5.2 Opis ispitivanja

Ispitivanje je provedeno u ordinaciji na Stomatološkom fakultetu u Zagrebu. Ispitivanje se izvodilo na način da su svrdla podijeljena u 4 skupine svrdala istog proizvođača jednake grubosti. Skupine su određene prema vrsti podloge na kojoj se ispitivalo trošenje. Vrijeme trajanja ispitivanja je bilo u intervalima od po 3 minute, 8 minuta te 12 minuta.

5.2.1 Brušenje

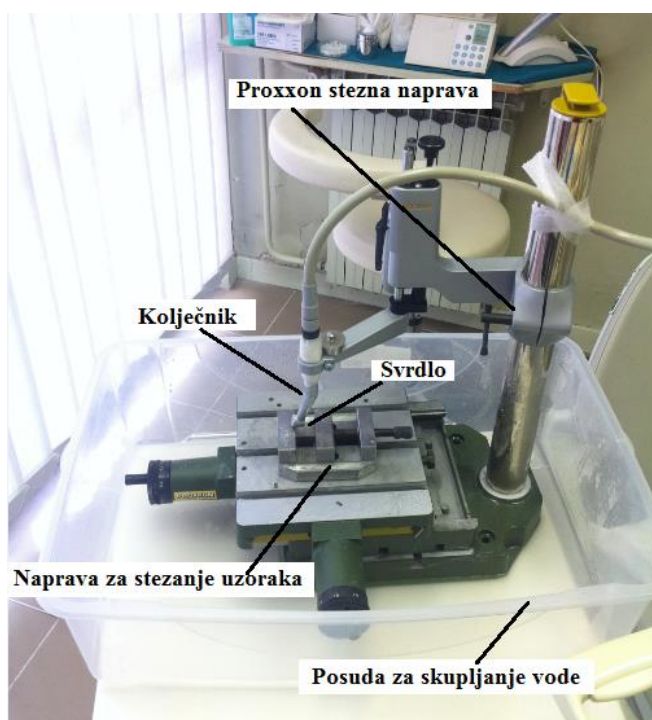
Brušenje, prikazano na slici 25, je izvedeno na stomatološkom stolcu na koji je instaliran dentalni kolječnik s brojem okretaja od 350.000 o/min. Kolječnik je izveden kao zračna turbina s vodenim hlađenjem. Na slici 26 je prikazan kolječnik, a na slici 27 je prikazana Proxxon stezna naprava s pripadajućim elementima.



Slika 25. Ispitivanje trošenja svrdala



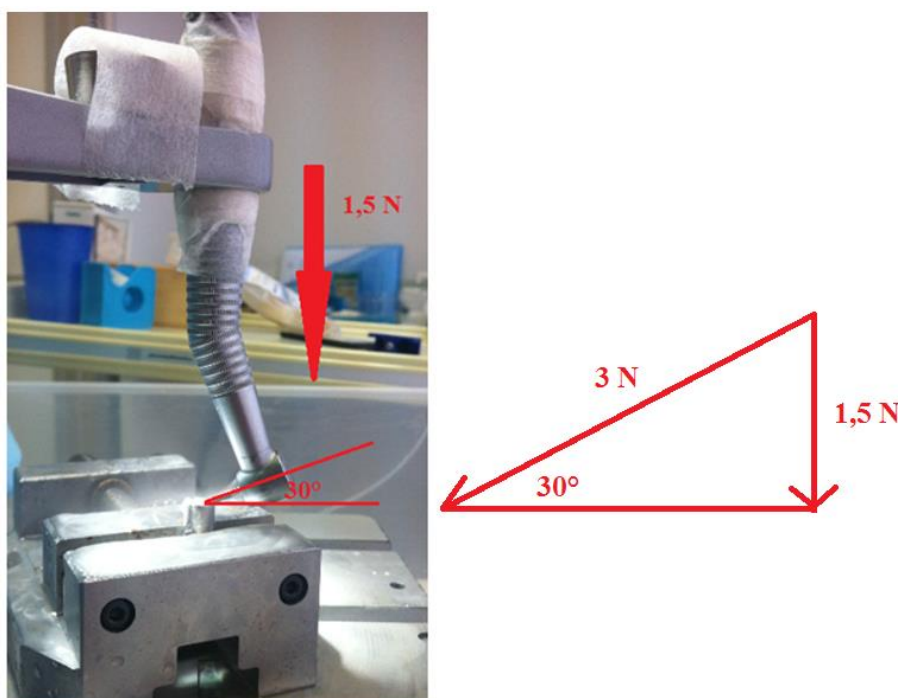
Slika 26. Dentalni kolječnik – zračni turbinski nastavak na koje je montirano svrdlo [24]



Slika 27. Proxxon stezna naprava s pripadajućim elementima

Ispitivanje je izvedeno na način da su se svrdla ubušivala u uzorke, koji su pričvršćeni u čeljust Proxxon stezne naprave, kako ne bi došlo do pomicanja uzoraka uslijed postupka brušenja. Opterećenje korišteno pri ispitivanju je 150 g, odnosno 1,5 N. Na slici 28 je prikaz dijagrama sila koji prikazuje rezultantnu silu:

$$Fr = \frac{1,5 \text{ N}}{\sin 30^\circ} = 3,0 \text{ N}.$$



Slika 28. Dijagram sila

Iz dijagrama sila izračunata je rezultantna sila kojom je opterećeno svrdlo u iznosu od 3 N.

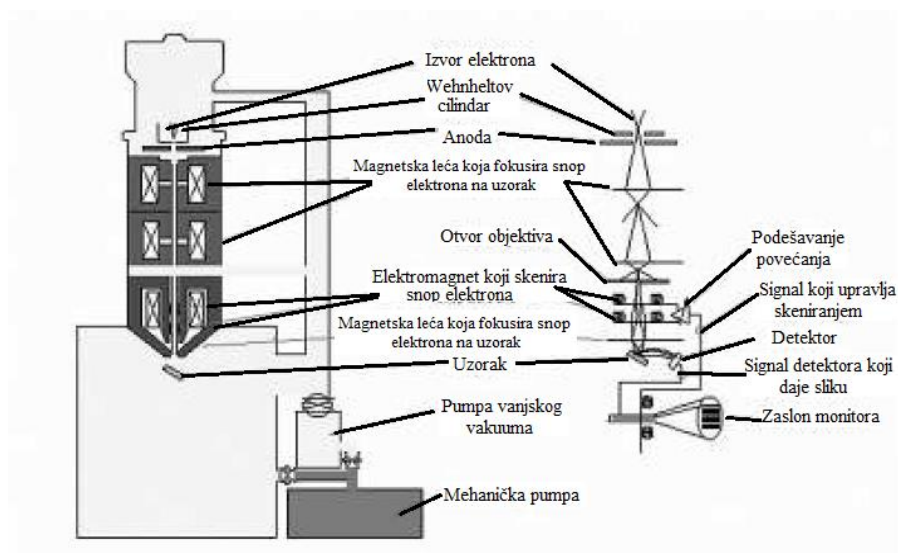
5.2.2 Skeniranje uzoraka SEM-om

Za ispitivanje uzoraka koristio se skenirajući elektronski mikroskop, model Tescan Vega 5136 mm (Češka, EU).

Svi SEM uređaji sastoje se od [25]:

- elektronske kolone koja stvara snop elektrona
- komore za uzorke, gdje snop elektrona "pada" na uzorak
- detektore koji promatraju varijabilnost signala koji dolaze od interakcije uzorka i snopa
- sustava za gledanje koji pretvara signale u vidljivu sliku.

Na slici 29 dan je shematski prikaz elemenata SEM-a.

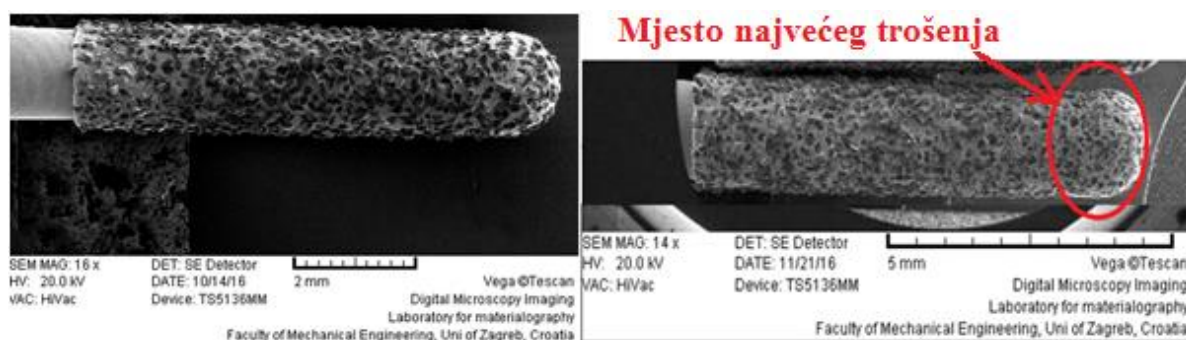


Slika 29. Shematski prikaz elemenata SEM-a [25]

Komora elektronskog topa u kojoj se stvara snop elektrona nalazi se na vrhu kolone. U njoj elektrostatsko polje usmjerava elektrone koji se emitiraju iz vrlo malog dijela površine elektrode, kroz mali otvor na Wehneltovom cilindru. Nakon toga elektronski top ubrzava elektrone niz kolonu prema uzorku s energijama koje se kreću u rasponu od nekoliko stotina do nekoliko desetaka tisuća volti. Ima nekoliko vrsta elektronskih topova – wolfram, LaB6 (lantan heksaborid) i emisija kroz polje. Obje koriste različite materijale za elektrode i fizičke principe, ali zajedničko ime je stvaranje usmjerene zrake elektrona koja je stabilna, dovoljno snažna pri najmanjoj mogućoj površini.

Elektroni se emitiraju iz elektronskog topa kao divergentna zraka. Skup magnetskih leća i otvora unutar kolone rekonvergiraju i fokusiraju snop u umanjenju slika sjecišta zraka. Blizu samog dna kolone nalazi se set skenirajućih elektromagneta koji na specifičan način deflektiraju zraku prema zadnjoj leći, koja fokusira snop u što manju točku na površini uzorka.

Snop elektrona izlazi iz kolone u komoru s uzorcima. U komori se nalazi ploča (stage) koja omogućuje manipulaciju s uzorkom, vrata, odnosno ladica, koja je ujedno i hermetički zabrtvljena, a služi za umetanje i uklanjanje uzorka, ulazni konektori za umetanje raznih detektora signala i ostalih dodatnih uređaja. Kako elektroni iz snopa prodiru na uzorak, tako predaju energiju, koja se emitira iz uzorka na nekoliko načina. Svako emitiranje znači i potencijalni signal za detektore, koji iz njih mogu kreirati odgovarajuću sliku. [25] Na slici 30 prikazano je netrošeno svrdlo i svrdlo s naznačenim mjestom najvećeg trošenja, odnosno gubitka mase radnog dijela svrdla.

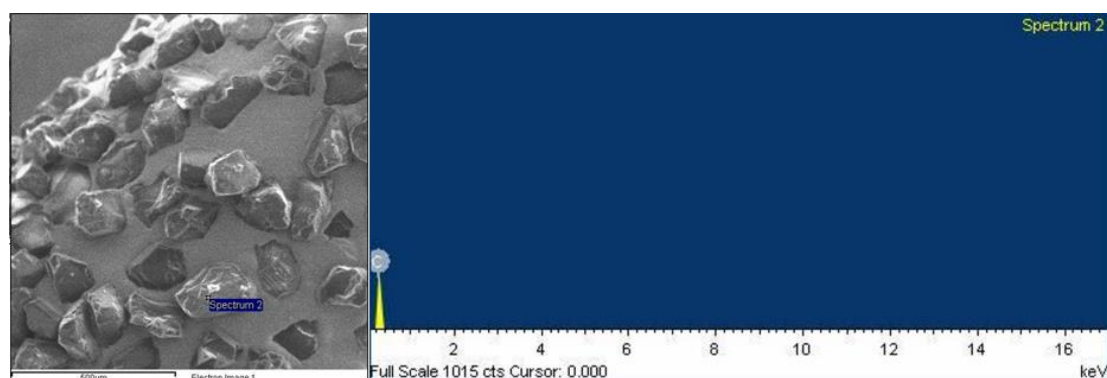


a) Nepotrošeno svrdlo

b) Svrdlo nakon 12 min trošenja

Slika 30. SEM slika trošenja svrdla

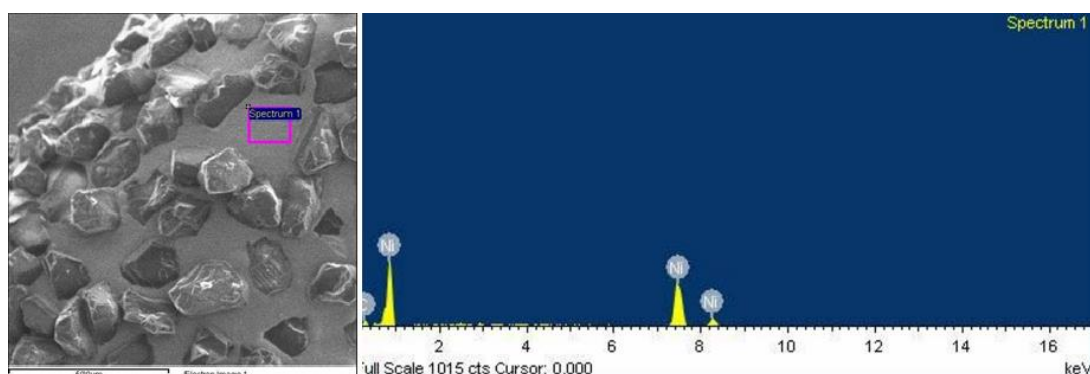
Na slikama 31 i 32 je prikazana mikrokemijska analiza odabranog područja radnog dijela svrdla, EDS analiza (engl. *Energy Dispersive Spectroscopy*) proizvođača - INCA X – sight, Oxford Instruments koja prikazuje kemijski sastav dijamantne prevlake radnog dijela svrdla. U tablicama 12 i 13 prikazan je kemijski sastav dijamantne prevlake, odnosno matrice svrdla.



Slika 31. EDS analiza dijamantne prevlake svrdla

Tablica 12. Kemijski sastav dijamantne prevlake svrdla

Element	Udio [%]
C	100



Slika 32. EDS analiza matrice svrdla

Tablica 13. Kemijski sastav matrice svrdla

Element	C	Ni
Udio [%]	16,48	83,52

Prema EDS analizi dijamantne čestice nalaze se u Ni matrici.

5.3. Rezultati

Nakon svakog vremenskog intervala svrdla su ultrazvučno očišćena digitalnim ultrazvučnim čistačem Pro'sKit SS-802, prikazanim na slici 33, zatim im je izmjerena masa na laboratorijskoj vagi marke Ohaus (SRNJ) (slika 34) te analizirani tragovi trošenja na SEM-u Tesan Vega 5136mm čiji su rezultati prikazani u tablicama 14-16 te dijagramima.



Slika 33. Digitalni ultrazvučni uređaj Pro'sKit SS-802

Uređaji za ultrazvučno čišćenje imaju upotrebu u laboratorijima za brzo, temeljito i nježno čišćenje svih materijala i uzoraka. Svrkla su nakon brušenja uronjena u posude sa 70% alkoholom, koje su bile uronjene u vodu, sa svrhom uklanjanja nečistoća nastalih prilikom brušenja uzoraka. Vrijeme trajanja ispitivanja je bilo 90 sekundi.

Nakon svakog ubušavanja svrdla su vagana kako bi se mogao izmjeriti gubitak mase, a time i vjerodostojnije procijeniti samo trošnje svrdla.



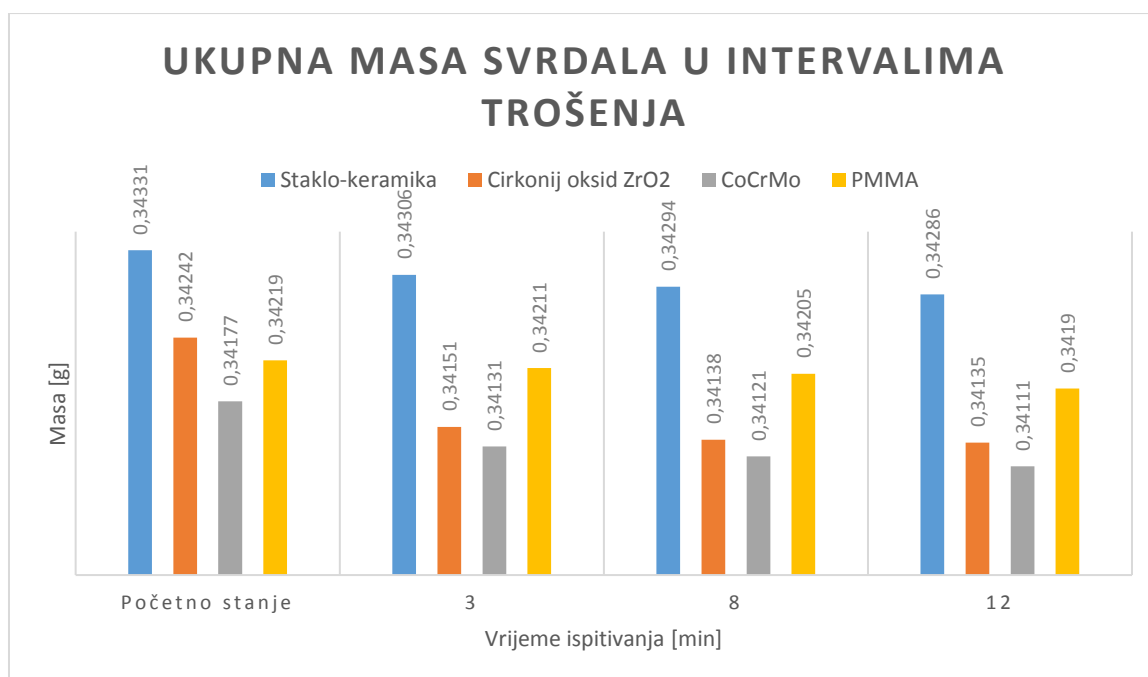
Slika 34. Laboratorijska vaga

Tablica 14. Ukupna masa ispitivanih svrdala

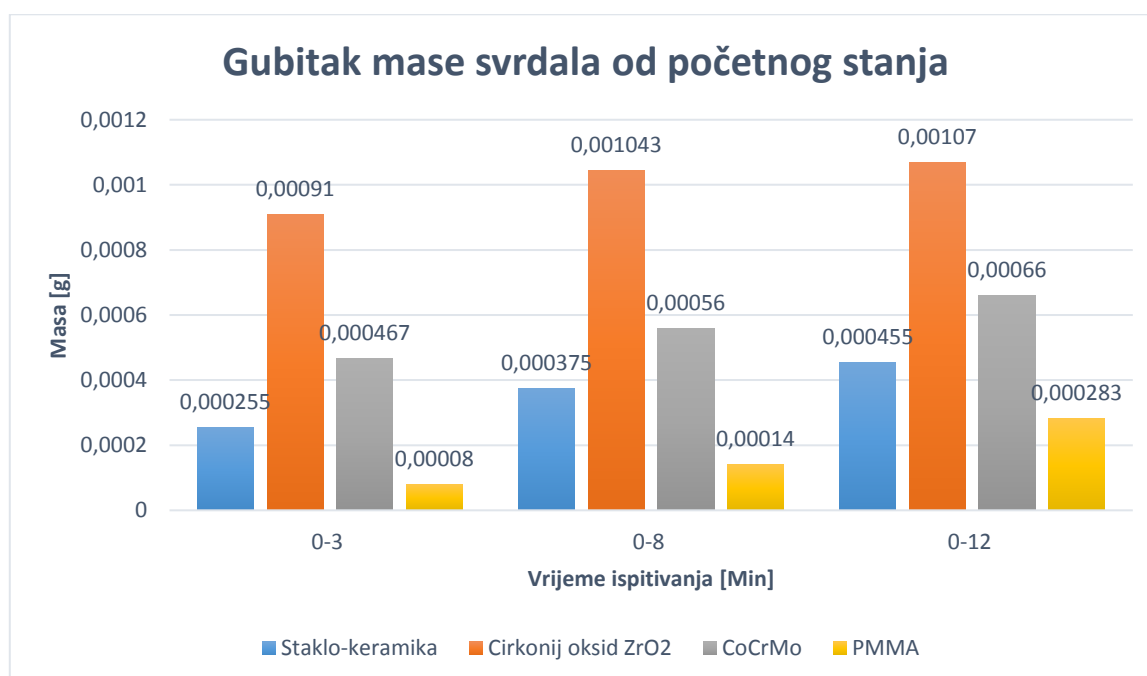
Vrijeme ispitivanja	Početno stanje	3 min	8 min	12 min
SVRDLO	Masa svrdla [g]			
	Podloga staklo-keramika			
1	0,34251	0,34222	0,34214	0,34207
2	0,34507	0,34484	0,34460	0,34456
3	0,34268	0,34238	0,34231	0,34222
4	0,34299	0,34279	0,34270	0,34258
Prosječna masa	0,34331	0,34306	0,34294	0,34286
	Podloga ZrO ₂			
1	0,34231	0,34089	0,34080	0,34071
2	0,34261	0,34181	0,34170	0,34169
3	0,34276	0,34228	0,34208	0,34205
4	0,34201	0,34107	0,34094	0,34096
Prosječna masa	0,34242	0,34151	0,34138	0,34135
	Podloga CoCrMo			
1	0,34113	0,34048	0,34040	0,34030
2	0,34306	0,34262	0,34246	0,34238
3	0,34113	0,34079	0,3407	0,34057
4	0,34177	0,34133	0,34129	0,3412
Prosječna masa	0,34177	0,34131	0,34121	0,34111
	Podloga PMMA			
1	0,34305	0,34294	0,34287	0,34274
2	0,34136	0,34119	0,34124	0,34102
3	0,34260	0,34261	0,34254	0,34243
4	0,34173	0,34169	0,34153	0,34142
Prosječna masa	0,34219	0,34211	0,34205	0,34190

Tablica 15. Gubitak mase svrdala u odnosu na početno stanje

Vrijeme ispitivanja	0-3 min	0-8 min	0-12 min
SVRDLO	Gubitak mase svrdla [g]		
	Podloga staklo-keramika		
1	0,00029	0,00037	0,00044
2	0,00023	0,00047	0,00051
3	0,00030	0,00037	0,00046
4	0,00020	0,00029	0,00041
Δm	0,000255	0,000375	0,000455
	Podloga ZrO ₂		
1	0,00142	0,00151	0,00160
2	0,00080	0,00091	0,00092
3	0,00048	0,00068	0,00071
4	0,00094	0,00107	0,00105
Δm	0,00091	0,001043	0,00107
	Podloga CoCrMo		
1	0,00065	0,00073	0,00083
2	0,00044	0,0006	0,00068
3	0,00034	0,00043	0,00056
4	0,00044	0,00048	0,00057
Δm	0,000467	0,00056	0,00066
	Podloga PMMA		
1	0,00011	0,00018	0,00031
2	0,00017	0,00012	0,00034
3	0,00000	0,00006	0,00017
4	0,00004	0,00020	0,00031
Δm	0,00008	0,00014	0,000283



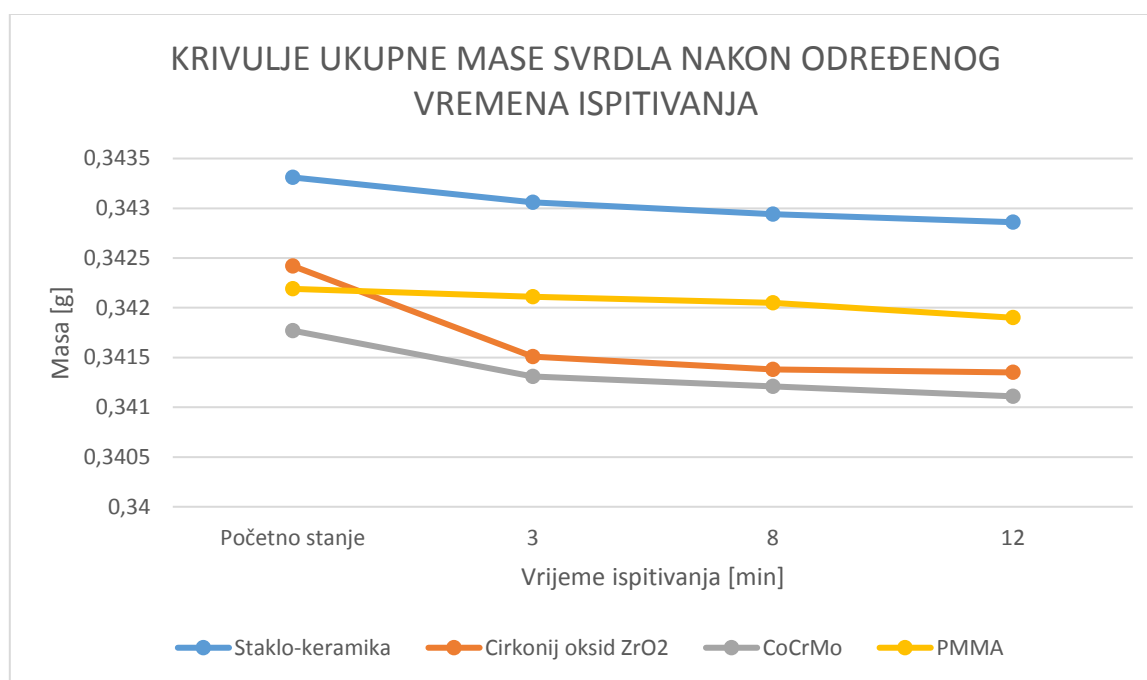
Slika 35. Dijagram ukupe mase svrdala u intervalima trošenja



Slika 36. Dijagram gubitka mase svrdala od početnog stanja

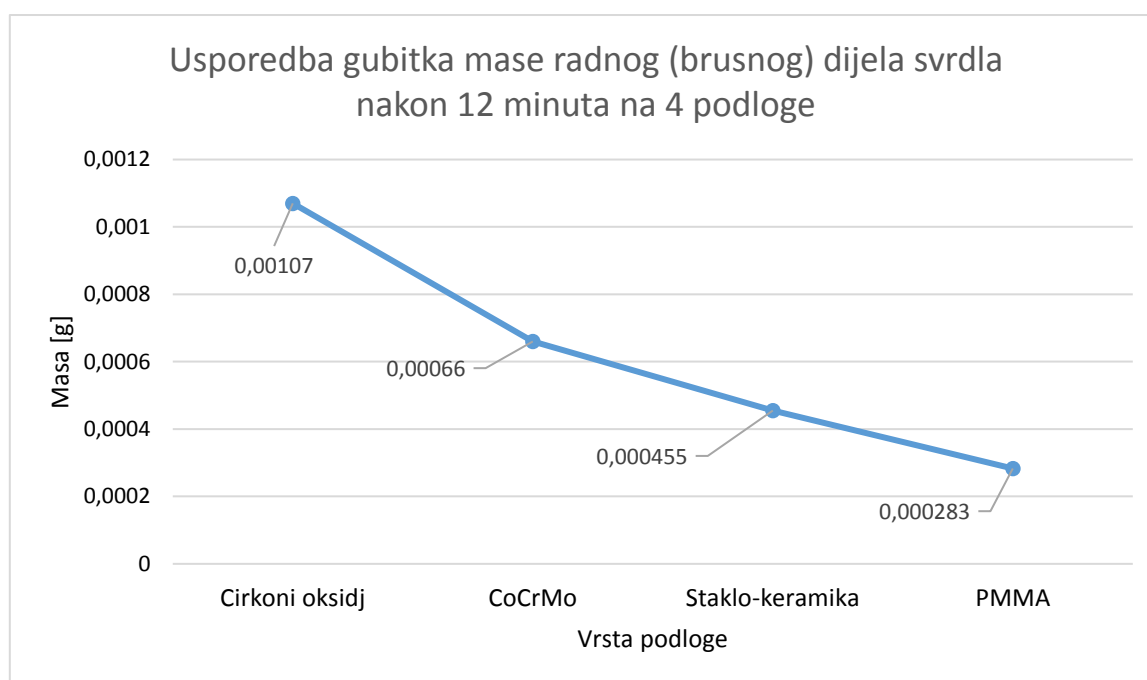
Iz slika 35 i 36 je vidljivo kako se najveći gubitak mase, odnosno da je do najvećeg trošenja došlo kod svrdala koja su bila u kontaktu, tj. koja su se trošila na podlozi ZrO_2 .

U odnosu na svrdla trošena na podlozi ZrO_2 do manjeg trošenja je došlo na svrdlima koja su se trošila na metalnoj i keramičkoj podlozi. Svrkla trošena na PMMA podlozi pokazuju najmanji gubitak mase. Na slici 37 prikazan je dijagram krivulja masa svrdla nakon određenog vremena trošenja iz kojeg se može usporediti gubitak mase svrdala, ovisno o podlozi.



Slika 37. Dijagram krivulja gubitka ukupne mase svrdla

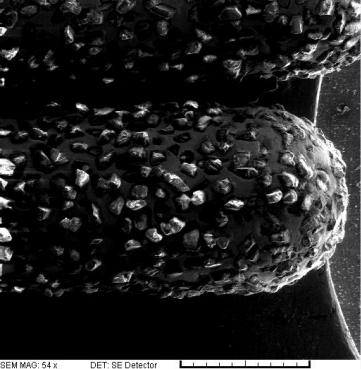
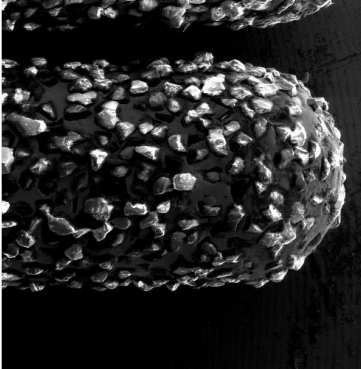
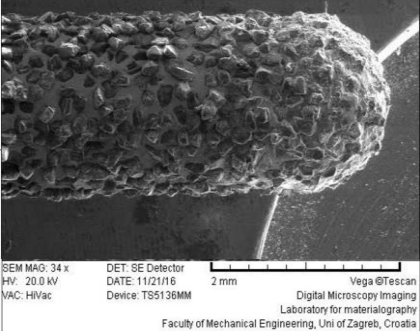
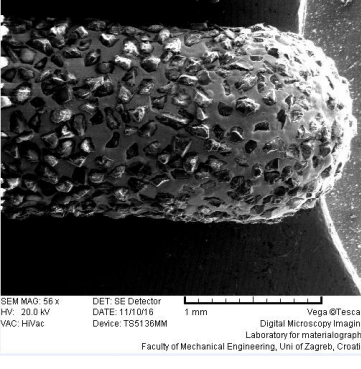
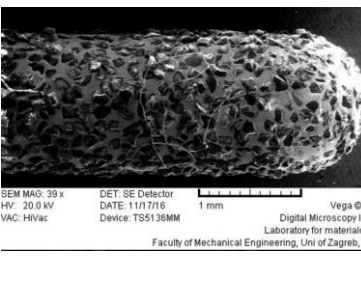
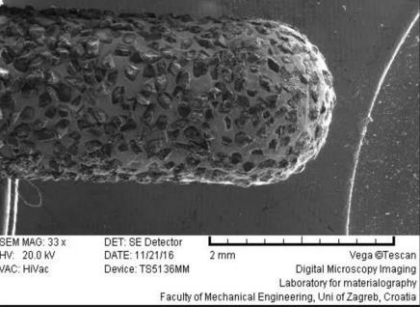
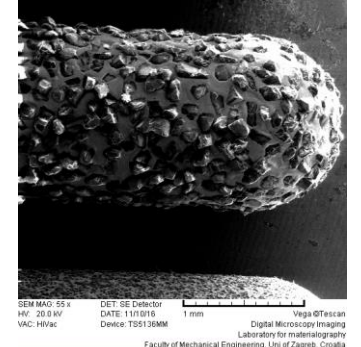
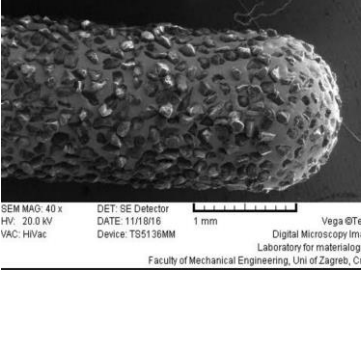
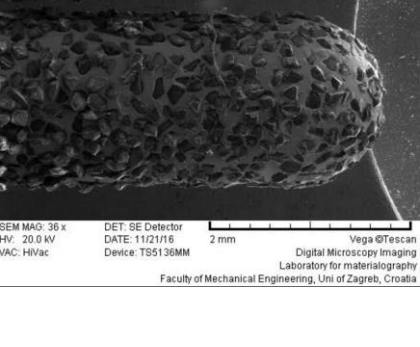
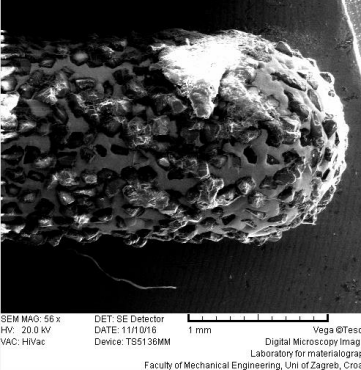
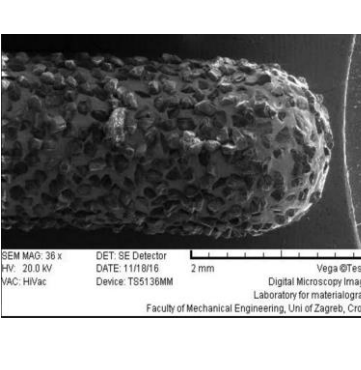
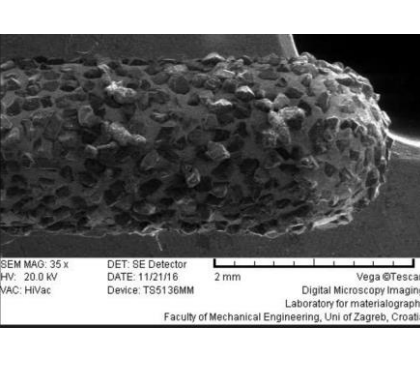
Krivulja ukupne mase svrdala trošenih na keramičkoj i metalnoj podlozi "pad", odnosno povećani gubitak ukupne mase ima u intervalu [0-3 min] nakon čega je vidljivo blago trošenje svrdala. Također krivulja svrdala trošenih na ZrO_2 podlozi ima povećani "pad" u intervalu [0-3 min], dok nakon toga pokazuje minimalno trošenje. Skupina svrdala trošenih na PMMA podlozi pokazuju najmanji gubitak mase u odnosu na ostale skupine. U tablici 16. su slikovni prikazi gubitka mase radnog dijela svrdla u kojima je vidljivo kako se mijenja oblik radnog dijela svrdla, ovisno o podlozi kroz intervale trošenja.



Slika 38. Usporedba gubitka mase radnog dijela svrdla nakon 12 minuta na 4 podloge

Na slici 38 prikazan je dijagram s prosječnim gubicima mase svake skupine svrdala nakon 12 minuta ispitivanja. Iz usporedbe tih vrijednosti vidljivo je da u odnosu na skupinu svrdala trošenu na ZrO_2 podlozi manji gubitak mase za 38,31% izmjeren je kod metala, 57,48% kod staklo-keramike te 73,55% kod skupine svrdala trošenih na PMMA podlozi.

Tablica 16. SEM slike ispitivanih svrdala

	3 min	8min	12min
Staklo-keramika	 <p>SEM MAG: 54 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/10/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 59 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/12/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 34 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/21/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>
Podloga ZrO ₂	 <p>SEM MAG: 58 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/10/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 39 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/17/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 33 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/21/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>
Podloga CoCrMo	 <p>SEM MAG: 55 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/10/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 40 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/18/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 36 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/21/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>
Podloga PMMA	 <p>SEM MAG: 58 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/10/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 38 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/18/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>	 <p>SEM MAG: 35 x HV: 20.0 kV VAC: HVVac DET: SE Detector DATE: 11/21/16 Device: TS5136MM Vega ©Tescan Digital Microscopy Imaging Laboratory for materialography Faculty of Mechanical Engineering, Uni of Zagreb, Croatia</p>

Iz tablice 16 je vidljivo kako se skupina svrdala trošenih na ZrO_2 podlozi najviše potrošila zbog toga što su dijamantne čestice, na mjestu najvećeg trošenja radnog dijela svrdla, izravnane za razliku od ostalih skupina svrdala gdje još postoje vidljive "izbočine" čestica. Trošenje svrdala ispitivano je u vremenskim intervalima od po 3 minute, 8 minuta i 12 minuta, a slična istraživanja trošenja svrdala radila su se u intervalima od 5 sekundi do 15 minuta [22,27,28,29].

5.4. Rasprava

Dentalna tehnologija je evoluirala tijekom posljednjih 100 godina, od mehaničkih asistenata do profesionalne discipline. Razvojem dentalne tehnologije razvijala su se i dentalna svrdla. U početku su se izrađivala od čelika, a s razvojem novih tehnologija javila se potreba za novim materijalima poput volfram karbida, koji je jedan od najtvrdih materijala i glavnih proizvoda na bazi volframa te dijamanta - danas primarnog dentalnog materijala za instrumente u restaurativnoj stomatologiji. U proizvodnji dentalnih svrdala poseban naglasak stavlja se na njihovu kvalitetu, trajnost, odnosno rezne sposobnosti radnog dijela svrdla. Široko rasprostranjena uporaba dijamantnih svrdala proizlazi iz njihove izvrsne otpornosti na abraziju i trošenje, smanjene proizvodnje topline te dužeg životnog vijeka.

U ovom istraživanju ispitivana su dentalna svrdla visoke kvalitete montirana na zračni turbinski kolječni hladjen vodom, a ispitivano je trošenje svrdala na najčešćim dentalnim materijalima: staklo-keramici, cirkonij oksidu ZrO_2 , leguri CoCrMo te polimetilmetakrilatu PMMA, odnosno materijalima koji se najčešće koriste u stomatološkoj protetici.

Dosadašnje spoznaje sličnih istraživanja svode se na procjenu rezne učinkovitosti svrdala koja je uvelike povezana s njihovim kliničkim korištenjem [21] i razvojem CAD/CAM sustava te primjenom tih svrdala u novoj dentalnoj tehnologiji. Tako je u istraživanju Chunga i suradnika uspoređivana rezna učinkovitost dentalnih svrdala na dentalnoj keramici, i to svrdala usporedive hrapavosti (grubosti) kao u ovom istraživanju (125-150 μm) i pod konstantnim opterećenjem od 170 g (u ovom istraživanju rezultatnim opterećenjem od 300 g). U tom istraživanju mjerena je dubina utora koji je rađen na dentalnoj keramici u vremenu od 30 sekundi. To je ponavljano u 5 ciklusa te je tako procjenjivana rezna učinkovitost svrdala [29]. Svrha ovog istraživanja bila je na sličnom opterećenju izmjeriti gubitak mase dijamantnog omotača radnog dijela svrdla. Dentalna svrdla imaju najveću učinkovitost na materijalima poput Ag-Pd-Cu-Au legura, Ag-Zn-In-Sn legura, Cr-Ni legura i titanu, međutim, usprkos subjektivnom osjećaju da zadržavaju i dalje svoja brusna svojstva, rezna sposobnost svrdala opada [18].

Istraživanje Xenodimitropouloua i suradnika pokazalo je da su silicij karbidna svrdla najučinkovitija za brušenja Co-Cr legura u laboratoriju, dok je volfram karbid učinkovitiji u oralno kirurškim zahvatima za rezanje dijelova zuba [19].

Također u istraživanju Miyawaki i suradnici navode da karbidna svrdla značajno brže režu metalne legure u odnosu na dijamantna svrdla, ali su dijamantna učinkovitija za rezanje plemenitih metala [18]. U svom radu Siegel i suradnici su istraživali kako se rezna učinkovitost dijamantnih svrdala mijenja prilikom primjene različitih opterećenja putem kolječnika na podlogu. U ovom istraživanju nije procjenjivana rezna učinkovitost dentalnih svrdala već trošenje njihove ukupne mase čime bi se rezna učinkovitost, odnosno promjena rezne učinkovitosti mogla samo pretpostaviti. U istraživanju Siegela i suradnika svrdla su ispitivana na staklo-keramici Macor, dok je u ovom istraživanju trošenje svrdala ispitivano na četiri najčešća protetsko-stomatološka materijala: staklo-keramici, cirkonij oksidu, leguri CoCrMo i akrilatu za izradu privremenih zubi (PMMA). Siegel i suradnici zaključuju kako većina stomatologa, tijekom praktičnog rada, kolječnik opterećuje silom od 100 g, što bi prema njima bilo optimalno za svrdla srednje grubosti, a kada su povećali opterećenje, rezna učinkovitost se nije povećavala. Nasuprot tome, kada se kod svrdala veće grubosti povećalo opterećenje, povećala se i rezna učinkovitost. Također su zaključili kako rezna učinkovitost uvelike ovisi o količini "krhotina" koje ostanu između dijamantnih čestica [22]. U ovom istraživanju nije se povećavala sila, odnosno opterećenje silom na ispitni materijal, ona je bila konstantna i resultantno je iznosila 300 g. Grubost svrdala u ovom istraživanju bila je po ISO klasifikaciji visoka (zelena), što je usporedivo s istraživanjem Siegela i suradnika u kojem se istraživala rezna učinkovitost tri dijamantna svrdla različitih grubosti [23]. Dijamantna svrdla, korištena u Sigelovom istraživanju bila su srednje grubosti, visoke grubosti te super grubosti, a ispitni materijal je bila staklo-keramika. Opterećenje u istraživanju je bilo 147.5 g. Na temelju rezultata zaključeno je kako je rezna učinkovitost svrdla srednje grubosti 50% manja u odnosu na gruba i super gruba svrdla [23]. U istraživanjima rezne učinkovitosti dentalnih svrdala u kojima su ispitivani i mjeren gubitak volumena i mase materijala odvijala su se u određenom razdoblju (od 5 sekundi do najviše 15 minuta), a u skladu s tim trajanje ovog istraživanja prekinuto je nakon 12 minuta. U ovom istraživanju mjeren je gubitak ukupne mase dentalnih svrdala, ali taj gubitak mase nije doveden u neposredan odnos s reznom učinkovitošću istih svrdala, što nije usporedivo s rezultatima ostalih sličnih istraživanja. Daljnja istraživanja trebala bi u odnos dovesti reznju učinkovitost i gubitak mase dijamantnog omotača radnog dijela svrdla.

6. ZAKLJUČCI

U ovom radu ispitana su svrdla s dijamantnom prevlakom na radnom dijelu svrdla u ovisnosti o vremenu trošenja (3, 8 i 12 minuta trošenja). Na temelju ispitivanja može se zaključiti:

1. Skupina svrdala trošenih na podlozi **ZrO₂** nakon 12 minuta potrošila se **0,31%**, skupina svrdala trošenih na podlozi **CoCrMo** nakon 12 minuta potrošila se **0,19%**, skupina svrdala trošenih na **staklo-keramici** nakon 12 minuta potrošila se **0,13%**, skupina svrdala trošenih na **PMMA** podlozi nakon 12 minuta potrošila se **0,08%**.
2. **Najveći gubitak mase** radnog dijela svrdla, montiranog na turbinski kolječnik na brzini od 350000 o/min, uz vodeno hlađenje i uz konstantano rezultatno opterećenje (3 N) primjećen je na skupini svrdala trošenim na podlozi od **cirkonij oksida - ZrO₂**.
3. **Najmanji gubitak mase** radnog dijela svrdla, montiranog na turbinski kolječnik na brzini od 350000 o/min, uz vodeno hlađenje i uz konstantano rezultatno opterećenje (3 N) primjećen je na skupini svrdala trošenim na podlozi od **polimetilmetakrilata - PMMA**.

LITERATURA

- [1] Zgaga R., "Tribologija, nova znanstvena disciplina u znanosti i tehnici", Strojarsstvo XVII (5) 1975, 193 – 195
- [2] Ivušić V.; "Tribologija", Sveučilište u Zagrebu; Zagreb, 1998.
- [3] Šućur N., "Trošenje klipnjače koljenastog vratila dvotaktnog motora s vanjskim paljenjem", Završni rad, FSB, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [4] Grilec K., Jakovljević S.; "Tribologija", Autorizirana predavanja, FSB, Sveučilište u Zagrebu, 2015.
- [5] Ash, Claudius & Sons, A Centenary Memoir 1820–1921, Clowes London, 1921.
- [6] Craig RG, Powers JM.: "Restorative Dental Materials", 11th edition, Mosby, 2002.
- [7] Jackson M.J., Waqar A.: "Surface Engineered Surgical Tools and Medical Devices", Springer, Berlin, 2007.
- [8] Ring M.E., Hurley N.J.: "Beall Morrison: the visionary who revolutionized the practice of dentistry". J Am Dent Assoc, 131(8):1161-1167, 2000.
- [9] www.pinterest.com, 5.6.2016.
- [10] Slade I.: "Obrada materijala II", 2012
- [11] Čatović A.: "Klinička fiksna protetika", Stomatološki fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- [12] Siegel S.C., Von Fraunhofer J.A.: "Dental cutting: The historical development of diamond burs", JADA, 1998.
- [13] Šutalo J. i sur: "Patologija i terapija tvrdih zubnih tkiva", Naklada Zadro, Zagreb, 1994.
- [14] Opća enciklopedija, "Volfram W", 1977.
- [15] Požar H.: "Tehnička enciklopedija", Grafički zavod Hrvatske, 1987.
- [16] www.ilic.hr, 20.06.2016.
- [17] www.enciklopedija.hr, 30.06.2016.
- [18] Miyawaki H, Taira M, Wakasa K, Yamaki M.: "Dental high-speed cutting of four cast alloys", J Oral Rehabil, 20(6):653-61., 1993.
- [19] Xenodimitropoulou G., Radford D.R.: "The machining of cobalt-chromium alloy in partial denture construction", Int J Prosthodont, 11(6):565-73., 1998.
- [20] Nishimura K., Ikeda M., Yoshikawa T., Otsuki M., Tagami J.: "Effect of various grit burs on marginal integrity of resin composite restorations", J Med Dent Sci.; 52(1):9-15.
- [21] Wilwerding T., Aiello A.: "Comparative efficiency testing 330 carbide dental burs utilizing Macor substrate", Pediatr Dent., May-Jun; 12(3):170-1, 1990.

- [22] Siegel S:C., von Fraunhofer J.A.: "Dental cutting with diamond burs: heavy-handed or light-touch?", *Journal of Prosthodontics*; 8(1):3-9, 1999.
- [23] Siegel S:C., von Fraunhofer J.A.: "Cutting efficiency of three diamond bur grit sizes", *JADA*; 131(12):1706-10, 2000.
- [24] <http://www.novodent.hr/hr/endo-wh-koljecnik>, 18.11.2016.
- [25] Mršić G., Žugaj S.: "Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX)
- [26] Šimeg L.: "Primjena elektronske mikroskopije u karakterizaciji prirodnih materijala", Završni rad, FSB, Sveučilište u Zagrebu, 2014.
- [27] Chung E.M.: "Comparing cutting efficiencies of diamond burs using a high-speed electric handpiece", *GenDent*, 2006.
- [28] Watanabe I.: "Cutting efficiency of air-turbine burs on cast titanium and dental casting alloys", *Dental materials*, vol. 16, 420-425, 2000.
- [29] Riera Di Cristofaro R.G.: "Comparative Study of the Cutting Efficiency and Working Life of Carbide Burs", *Journal of Prosthodontics*, 2013.

PRILOZI

- I. DBWS-014-3 Material data sheet, Courtesy of Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG
- II. IPS Empress CAD® Technical data sheets, Vivadent-Ivoclar, Liechtenstein
- III. Technical data sheets Wieland dental, FRG

PRILOG I

Werkstoffdatenblatt

Material data sheet

DBWS-014-3



Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG
Trophagener Weg 25 · 32657 Lemgo
Postfach 160 · 32631 Lemgo
Germany

Allgemeines/ General

Bezeichnung: Title:	Rost- und säurebeständiger Stahl Stainless and acid proof steel
Werkstoff- Nr. EN 10027-2 material no. EN 10027-2	1.4310
Werkstoff-Kurzname EN 10027-1: Material short cut EN 10027-1:	X10CrNi18-8
Anwendungszweck: Range of application:	Medizinische Werkzeuge und Instrumente für den kurzzeitigen Kontakt mit Gewebe / Knochen / Dentin Medical tools and instruments for short-term contact with tissue / bone / dentin

Anwendbare Normen und Spezifikationen/ Applicable standards and specifications

Werkstoff referenzen: Material references:	EN 10088-1 Nichtrostende Stähle- Teil 1: Verzeichnis der nichtrostenden Stähle Stainless Steels- Part 1: List of stainless steels
	EN 10088-2 Nichtrostende Stähle- Teil 2: Technische Lieferbedingungen für Blech und Band aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung Stainless steels – part 2: Technical delivery conditions for sheet / plate and strip of corrosion resisting steels for general purposes
	EN 10088-3 Nichtrostende Stähle- Teil 3: Technische Lieferbedingungen für Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile und Blankstahlerzeugnisse aus korrosionsbeständigen Stählen für allgemeine Verwendung Stainless steels – part 3: Technical delivery conditions for semi-finished products, bars, rods, wire, sections and bright products of corrosion resisting steels for general purposes
Anwendung Application	EN ISO 13504 Zahnheilkunde – Allgemeine Anforderungen an bei der Implantation verwendeten Instrumente und Zubehör Dentistry - General requirements for instruments and related accessories used in dental implant placement and treatment
Biokompatibilität: Biocompatibility	EN ISO 10993-1 Biologische Beurteilung von Medizinprodukten- Teil 1: Beurteilung und Prüfung im Rahmen eines Risikomanagementsystems Biological evaluation of medical devices – Part 1: Evaluation and testing

Chemische Zusammensetzung / Chemical composition [%]

	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni
min.	0,05						16,00		6,00
max.	0,15	2,00	2,00	0,045	0,015	0,11	19,00	0,80	9,50

Physikalische Eigenschaften / Physical properties

Härte / Hardness HV	Blech und Band sheet / plate and strip	Halbzeug, Stäbe, Walzdraht, gezogenen Draht, Profile, Blankstahlerzeugnisse semi-finished products, bars, rods, wire, sections, bright products
min.	~ 403	~ 505
max.	~ 601	~ 656

Datum/ Date	18.12.2013	Datum/ Date	18.12.13
Erstellt/ Prepared		Freigegeben/ Released	

PRILOG II

2. Technical data

IPS Empress CAD

Blocks

Standard composition:

(in weight %)

SiO ₂	60.0 - 65.0
Al ₂ O ₃	16.0 - 20.0
K ₂ O	10.0 - 14.0
Na ₂ O	3.5 - 6.5
Other oxides	0.5 - 7.0
Pigments	0.2 - 1.0

Physical properties:

In accordance with:

ISO 6872 Dental ceramic

ISO 9693 Metal-ceramic dental restorative systems

Flexural strength (biaxial)	160 MPa
Chemical solubility	< 100 µg/cm ²
Coefficient of thermal expansion (100 - 500 °C)	17.5 ± 0.5 µm/(m·K)
Transformation temperature	625 ± 20 °C

3. Materials science investigations and *in-vitro* studies

The difference between IPS Empress CAD and the predecessor product ProCAD is the optimized manufacturing process and the expanded selection of block shades, which are available in two levels of translucency. Consequently, investigations on ProCAD are also listed below.

3.1 *Physical properties of the IPS Empress CAD*

Fracture toughness	1.3 MPa m ^{1/2}
Hardness	6200 MPa
Biaxial strength (ISO 6872)	160 MPa
CTE (100-400 °C)	16.6 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
CTE (100-500 °C)	17.5 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Chemical solubility	25 µg/cm ²
Opacity (Contrast Ratio CR)	0.4 – 0.7
Modulus of elasticity	62 GPa

(Ivoclar Vivadent AG, Schaan, 2005/2006)

3.2 *Fracture load of cuspid crowns*

ProCAD cuspid crowns were tested for their fracture strength after they were subjected to different thermal pre-treatment methods. Seven crowns were tested in an untreated state. Furthermore, 7 crowns each were subjected to the following treatments before testing:

- Thermocycling (TC) (5°C/55 °C, 30,000 cycles)
- Thermoshock (TS) (90 °C/ 0 °C to 165 °C/0 °C)
- TC and TS

The crowns were adhesively bonded to CoCr dies and subsequently loaded to the point of failure in a universal testing machine.

PRILOG III

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group



ZENOTEC CAD/CAM Zenostar Full Contour

Millable materials by Wieland

PARTNER OF
ICDE
International Center
for Dental Education
ivoclar
vivadent

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group

ZENOTEC for Lost Material Technique

CAD/CAM

 **Zenotec PMMA Cast**

Indications:

- Lost material casting process
- Pressing and overpressing technique

Not a medical product



June 25th 2014 Eva Kolb, M.Sc. page | 7

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group

ZENOTEC for Lost Material Technique

CAD/CAM

Zenotec PMMA Cast

Product features:

- Very easy to mill
- Best shape stability
- Very good surface quality
- Burns without residue
- Low-cost alternative



June 25th 2014 Eva Kolb, M.Sc. page | 8

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group


ZENOTEC NP (Non-Precious)

CAD/CAM

NP

High quality CoCrMo alloy (type 3)

Veneering: e.g. with IPS InLine

June 25th 2014 Eva Kolb, M.Sc. page | 17

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group

ZENOTEC

NP (Non-Precious)

CAD/CAM

NP

Indications:

- Single crowns and bridges (all sizes) for veneering
- Full-contour single crowns and bridges

June 25th 2014

Eva Kolb, M.Sc.

page | 18

WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group

ZENOTEC

NP (Non-Precious)

CAD/CAM

NP

Product features:

- Excellent physical properties
- Precise fit
- Highly biocompatible
- High resistance to corrosion and heat
- High esthetics with veneering ceramics

June 25th 2014

Eva Kolb, M.Sc.

page | 19

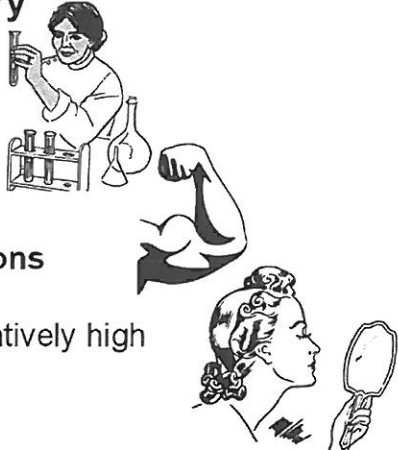
ZENOSTAR

FULL CONTOUR

WIELAND
DENTAL
A company of the Hoescht Vivadent Group

Zirconia in Dentistry

- Low chemical solubility
➔ **highly biocompatible**
- Mechanically strong, good aging behaviour
➔ **wide range of applications**
- Base color similar to tooth, relatively high translucency
➔ **superior esthetics**



June 25th 2014

Eva Kolb, M.Sc.

page | 22

ZENOSTAR

FULL CONTOUR

WIELAND
DENTAL
A company of the Hoescht Vivadent Group

Zirconia – Material Properties

Density ρ [g/cm ³]	Young's modulus [GPa]	Fracture toughness [MPa·m ^{1/2}]	Bending strength σ_b [MPa]	Hardness [HV10]	Thermal expansion coefficient α [10 ⁻⁶ /K]	Melting point [°C]
5,89 – 6,1	200	6-10	1000-1400	1300	10	2680

High performance properties = multifunctional indications

June 25th 2014

Eva Kolb, M.Sc.

page | 23

ZENOSTAR

FULL CONTOUR

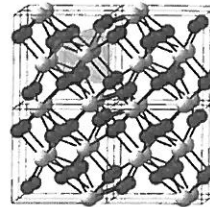
WIELAND
DENTAL
A company of the Ivoclar Vivadent Group



Zirconia – High Performance Material

Aliases:

Zirconium(IV)-oxide
ZrO₂



- Oxide ceramic
- Non-metallic, inorganic material
- High-performance ceramic: Outstanding fracture toughness and bending strength

June 25th 2014

Eva Kolb, M.Sc.

page | 24